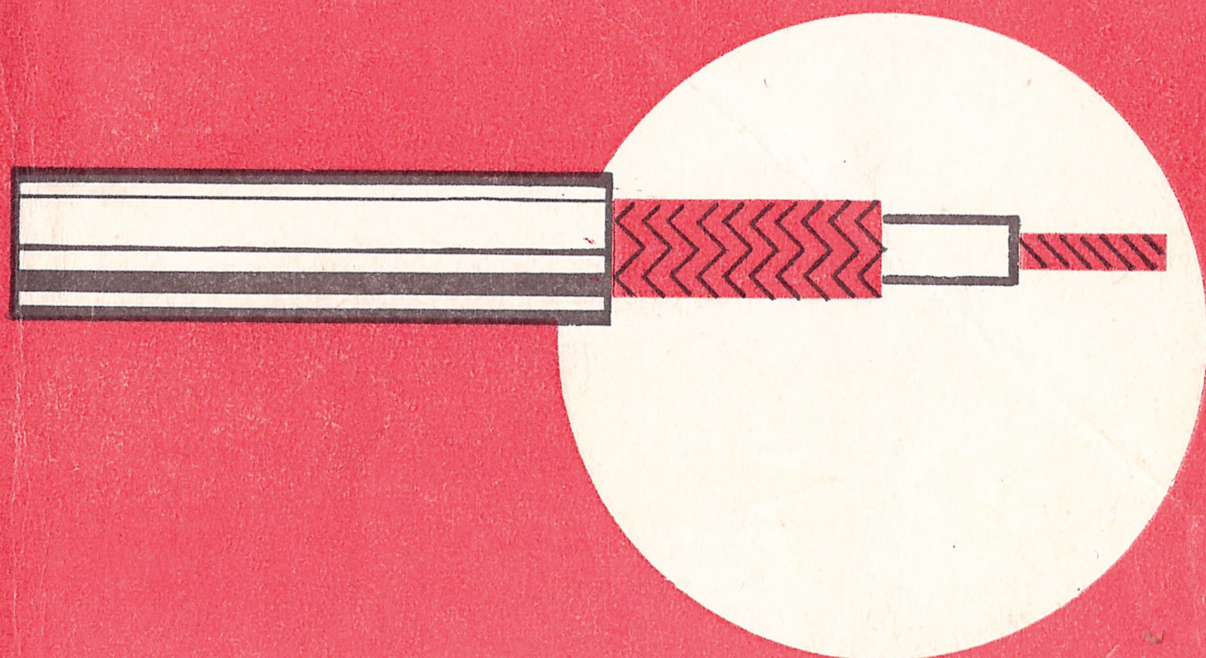
Л.И.КРАНИХФЕЛЬД
С.Б.ВЕСЕЛОВСКИЙ
В.Г.ФРОЛОВ



КАБЕЛИ УПРАВЛЕНИЯ И КОНТРОЛЬНЫЕ



Л. И. КРАНИХФЕЛЬД
С. Б. ВЕСЕЛОВСКИЙ
В. Г. ФРОЛОВ

КАБЕЛИ УПРАВЛЕНИЯ И КОНТРОЛЬНЫЕ

Под общей редакцией Л. И. Кранихфельда



«ЭНЕРГИЯ» МОСКВА 1975

ления кабелей управления и кабелей контрольных.

Книга предназначена для инженерно-технических работников кабельной промышленности, а также для инженеров, работающих в смежных отраслях техники и применяющих эти кабели. Книга может быть полезной и для учащихся вузов и техникумов, специализирующихся в кабельной технике.

Авторы приносят глубокую благодарность В. А. Маковскому, написавшему часть § 3-2, и В. И. Ванюкову, представившему материалы для § 1-4 и 3-6, а также Б. С. Голованеву, внимательно просмотревшему рукопись и давшему ряд ценных замечаний. Кроме того, авторы благодарят П. А. Дмитровского, Т. М. Орловича, А. С. Фридмана, А. В. Бутусову, А. Л. Гольдберга, Э. П. Новикову, Н. С. Шафранскую, Н. В. Филатову, А. В. Драгунова, Д. С. Киселева, В. С. Ермакова, Л. З. Хазена, Ю. В. Ляхова, Я. Ш. Дарьера, Д. А. Данильяна, В. В. Шитова и других товарищей, принимавших активное участие в создании новой группы кабельных изделий — кабелей управления.

ВВЕДЕНИЕ

В-1. ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ КАБЕЛЕЙ УПРАВЛЕНИЯ И КОНТРОЛЬНЫХ

В течение последних 50—60 лет во всех областях техники все более широкое применение находят средства контроля и управления самыми разнообразными процессами — электрическими, тепловыми, химическими и т. п.

Задача подведения управляющих сигналов к техническим устройствам и съема информации о характере протекающих в них процессов вначале решалась путем введения сигнальных жил в существовавшие конструкции силовых кабелей. На первом этапе такие комбинированные конструкции являлись приемлемым решением, однако по мере развития техники электротехнические устройства усложнялись, увеличивалось количество цепей контроля и управления, требования к ним усложнялись и комбинированные кабели оказались не пригодными для решения новых задач. Тогда возникла необходимость создания специальной группы многожильных кабелей контроля, сигнализации и управления.

Началом развития этого направления явилось создание в начале нашего столетия группы контрольных и сигнально-блокировочных кабелей. Эти кабели предназначались для группового силового питания контрольно-измерительной аппаратуры электрических станций и подстанций, для систем сигнализации и блокировки на железных дорогах, для пожарной сигнализации и т. п. Кабели использовались только при неподвижной прокладке и выполнялись на базе имевшихся проводниковых, электроизоляционных и защитных материалов (пропитанная бумажная и резиновая изоляция, свинцовые оболочки и т. п.).

Задачи, решавшиеся с помощью контрольных кабелей, до настоящего времени остаются достаточно акту-

альными, поэтому и сегодня эти кабели продолжают совершенствоваться.

Вместе с тем наблюдающееся в последние десятилетия совершенствование различной аппаратуры с использованием новейших средств автоматики и радиоэлектроники, тенденция к миниатюризации этой аппаратуры, а также расширение и ужесточение требований, предъявляемых к ее элементам, сделало практически невозможным применение существующих контрольных кабелей в цепях контроля и управления указанной аппаратуры. Суть новых требований к кабелям контрольным и управления сводится к следующему: а) значительное увеличение числа электрических цепей в одном кабеле при одновременном существенном снижении номинальных сечений токопроводящих жил; б) создание конструкций кабелей, предназначенных для подвижной эксплуатации в таких устройствах, как переносные пульты для геологоразведочного, метеорологического и медицинского оборудования, перемещающиеся на ограниченные расстояния подъемно-транспортные механизмы, машины металлургического производства и т. п.;) в) обеспечение защиты цепей контроля и управления от внешних и внутренних помех; г) стойкость кабелей к различным климатическим, механическим и специальным видам воздействий, определяемым разнообразными условиями эксплуатации аппаратуры; д) минимально возможные массы и габариты кабелей.

Реализация этих требований привела к тому, что создана новая группа кабелей, получивших название кабелей управления.

История создания отечественных кабелей управления насчитывает не более 15—20 лет.

Первая серия кабелей управления с волокнистой изоляцией в резиновом шланге марки КУШГ была создана в начале 50-х годов. Дальнейшим развитием конструирования кабелей управления явилось создание серии кабелей с пластмассовой (полиэтиленовой) изоляцией и оболочкой из полиэтилена, (КУШГ-М), а затем из резины (КУШГ ПР) и поливинилхлорида (КУШГПВ).

Одновременно были разработаны кабели с резиновыми изоляцией и оболочкой (КЭРШ, МЭРШ и т. п.).

Задача обеспечения отечественной техники кабелями управления привела к тому, что была создана обширная номенклатура этих кабелей, насчитывающая 25 марок и

более 350 марко-размеров. При этом конструирование кабелей управления велось применительно к требованиям конкретных видов аппаратуры без учета единых требований; это привело к дублированию отдельных кабелей, к разнобою в значениях технических параметров и к излишне большой номенклатуре.

Поэтому в период с 1968 по 1972 г. была проведена работа по унификации кабелей управления. Результатом этой работы явилось создание ГОСТ 18404-73 «Кабели управления. Общие технические условия».

Таким образом, сложились и продолжают развиваться две самостоятельные группы кабелей: а) контрольные кабели, предназначенные для неподвижного присоединения к электрическим приборам, аппаратам, сборкам зажимов электрических распределительных устройств номинальным напряжением до 660 В переменного тока частоты до 100 Гц или до 1000 В постоянного тока; б) кабели управления, предназначенные для передачи сигналов малой мощности напряжением до 1000 В переменного тока частоты до 5000 Гц или до 1400 В постоянного тока от датчиков к аппаратуре контроля и используемые для дистанционного управления исполнительными механизмами при подвижном присоединении.

Из сказанного следует, что обе группы кабелей практически решают одинаковую задачу — передачу маломощных низковольтных сигналов, однако они предназначены для принципиально различных условий эксплуатации. Именно этим определяется существенное различие конструктивных решений этих групп кабелей, о котором будет идти речь в дальнейшем.

В-2. КЛАССИФИКАЦИЯ КОНТРОЛЬНЫХ КАБЕЛЕЙ И РАЗМЕРНЫЕ РЯДЫ

А. КЛАССИФИКАЦИЯ

В зависимости от конструктивного исполнения контрольные кабели можно классифицировать по следующим основным признакам:

по материалу токопроводящих жил — из медной или алюминиевой проволоки;

по материалу изоляции — из кабельной пропитанной бумаги, резины, поливинилхлоридного пластиката, полиэтилена низкой плотности, самозатухающего полиэтилена, вулканизованного полиэтилена;

по материалу оболочки — из свинца, алюминия, стальной ленты (гофрированной), негорючей резины, поливинилхлоридного пластиката, полиэтилена.

В последнее время при конструировании теплостойких контрольных кабелей начали использоваться новые материалы — сополимеры фторопласта для изоляции токопроводящих жил и кремнийорганическая (силиконовая) резина для изготовления оболочек (в частности, в кабеле марки КФР).

По преимущественной области применения (виду броневых и защитных покровов): а) внутри помещений, в каналах, туннелях, если кабель не подвергается воздействию значительных растягивающих усилий (броня из двух стальных лент с противокоррозионным покрытием или из одной профилированной или из двух стальных оцинкованных лент); б) в помещениях, в каналах, туннелях при отсутствии механических воздействий на кабель (броневой покров отсутствует); в) в земле, (траншеях), если кабель не подвергается воздействию значительных растягивающих усилий (броня из двух стальных лент с наружным защитным покровом или в шланге из поливинилхлоридного пластиката); г) в каналах, туннелях, в земле (траншеях), если кабель подвергается воздействию значительных растягивающих усилий (броня из плоских оцинкованных проволок с наружным защитным покровом или шланге из поливинилхлоридного пластиката); д) под водой и местах, где кабель подвергается значительным растягивающим усилиям (броня из круглых стальных оцинкованных проволок с наружным защитным покровом или в шланге из поливинилхлоридного пластиката).

По степени помехозащищенности: неэкранированные и экранированные (в общем экране).

Б. РАЗМЕРНЫЕ РЯДЫ

Для контрольных кабелей установлен следующий размерный ряд сечений токопроводящих жил:

Медных, мм²	0,75; 1,0; 1,5; 2,5; 4; 6
Алюминиевых, мм²	2,5; 4; 6; 10

Контрольные кабели выпускаются со следующим числом изолированных жил:

4, 5, 7, 10, 14, 19, 27, 37, 52, 61.

В. ПРИНЦИПЫ МАРКООБРАЗОВАНИЯ

В условном обозначении кабеля (марке) по возможности кратко сосредоточена полная информация о контрольных кабелях: назначение кабеля; материал токопроводящей жилы; материал изоляции; материал и конструкция оболочки; вид брони и защитного покрова; число жил и их сечение.

Данные, определяющие тип кабеля, обозначаются буквами в соответствии с табл. В-1.

Таблица В-1

Вид информации	Условное обозначение
Назначение кабеля (контрольный)	К
Материал токопроводящей жилы:	
медь	Не обозначается
алюминий	А
Материал изоляции:	
резина	Р
поливинилхлоридный пластикат	В
полиэтилен низкой плотности	П
полиэтилен самозатухающий	Пс
Материал и конструкция оболочки:	
свинец	С
стальная лента (гофрированная)	Ст
резина негорючая	Н
поливинилхлоридный пластикат	В
Вид брони и защитного покрова:	
броня и защитный покров отсутствуют	Г
броня из двух стальных лент с наружным покровом	Б
броня из двух стальных лент с противокоррозионным покрытием без наружного покрова	БГ
броня из круглых оцинкованных проволок с наружным покровом	К
броня из двух стальных оцинкованных лент без наружного покрова	БГц
броня из одной оцинкованной профилированной стальной ленты без наружного покрова	БбГ
броня из двух стальных лент, шланг из поливинилхлоридного пластиката	БбШв
броня из круглых стальных оцинкованных проволок, шланг из поливинилхлоридного пластиката	ПбШв
броня отсутствует, шланг из поливинилхлоридного пластиката	Шв
Наличие общего экрана	Э

Маркоразмеры контрольных кабелей (марка кабелей, число и сечение токопроводящих жил) обозначаются буквами в соответствии с табл. В-1 с добавлением цифр, соответствующих числу и сечению жил.

Примеры условных обозначений контрольных кабелей приведены в табл. В-2.

Таблица В-2

Условное обозначение	Расшифровка обозначения
КРСБ 4×6	Кабель контрольный с четырьмя медными жилами сечением 6 мм², с резиновой изоляцией, в свинцовой оболочке с броней из двух стальных лент и наружным покровом
АКВВГЭ 19×2,5	Кабель контрольный с 19 алюминиевыми жилами сечением 2,5 мм², с изоляцией и оболочкой из поливинилхлоридного пластиката, в общем экране без брони
КПСтШв 52×1,5	Кабель контрольный с 52 медными жилами сечением 1,5 мм², с изоляцией из полиэтилена низкой плотности, в гофрированной стальной оболочке и шланге из поливинилхлоридного пластиката

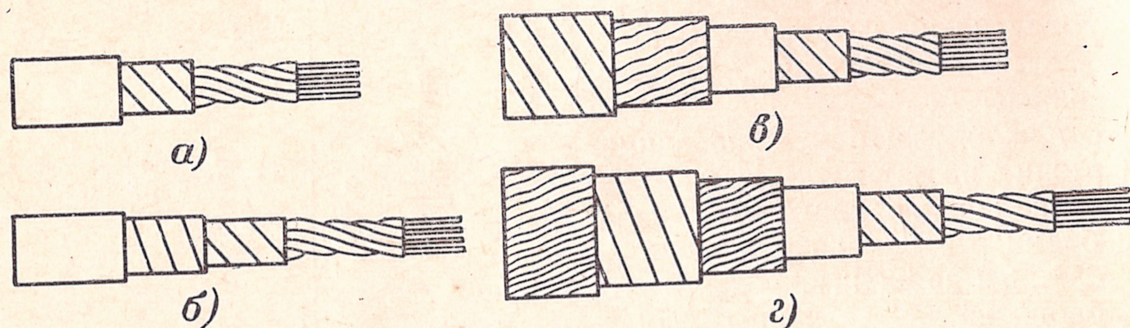


Рис. В-1. Внешний вид некоторых конструкций контрольных кабелей.

а — кабель четырехжильный без брони; *б* — кабель четырехжильный экранированный без брони; *в* — кабель четырехжильный бронированный; *г* — кабель четырехжильный бронированный с наружным покровом.

Внешний вид некоторых конструкций контрольных кабелей представлен на рис. В-1.

В-3. КЛАССИФИКАЦИЯ КАБЕЛЕЙ УПРАВЛЕНИЯ; РАЗМЕРНЫЕ И ПАРАМЕТРИЧЕСКИЕ РЯДЫ

А. КЛАССИФИКАЦИЯ

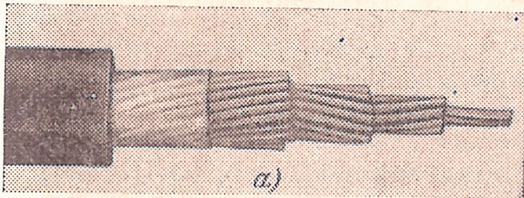
Одним из основных классификационных признаков кабелей управления является сочетание материалов, используемых для изготовления изоляции и оболочки.

Возможные сочетания этих материалов приведены в табл. В-3.

Таблица В-3

Материал изоляции	Материал оболочки
Резина нормальной нагревостойкости	Резина нормальной нагревостойкости
Поливинилхлоридный пластикат	Поливинилхлоридный пластикат
Полиэтилен высокой плотности	То же
То же	Резина нормальной нагревостойкости
Полиэтилен-капрон	То же
Фторопласт	То же
То же	Кремнийорганическая резина
Кремнийорганическая резина	То же
Фторопласт	Резина на основе фторкаучука

По форме исполнения кабели управления могут быть двух типов: круглой и плоской формы (рис. В-2).



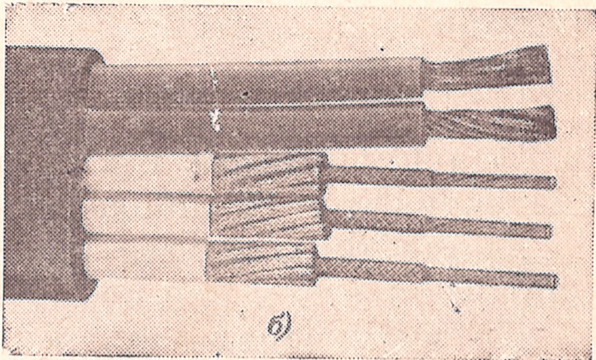


Рис. В-2. Кабели управления круглой (*а*) и плоской (*б*) формы.

Другим классификационным признаком кабелей управления является степень помехозащищенности.

По этому признаку кабели делятся на неэкранированные (требование помехозащищенности не предъявляется) с частью или всеми экранированными изолированными жилами (защита от взаимного влияния цепей), в общем или двойном общем экране (защита от внешних помех).

Внешний вид кабелей с различной степенью помехозащищенности показан на рис. В-3.

По конструктивному выполнению сердечника кабели управления могут быть: однородными, состоящими из экранированных или неэкранированных жил одного

и того же сечения; неоднородными, состоящими из экранированных или неэкранированных жил разных сечений, а также кабели с частью экранированных жил; комбинированными, состоящими из разных по назначению элементов (цепи контроля и управления, силовые цепи, высокочастотные цепи и др.).

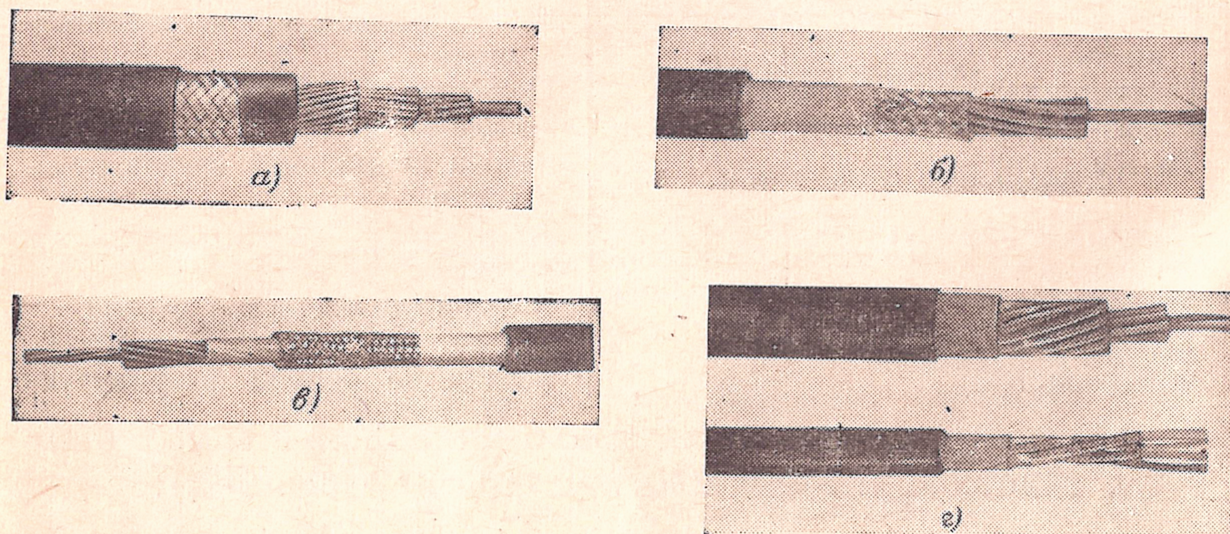


Рис. В-3. Внешний вид кабелей с различной степенью помехозащищенности.

а — неэкранированные; *б* — в общем экране; *в* — в двойном общем экране; *г* — с экранированными жилами.

Принципиальные схемы конструктивного выполнения сердечников этих кабелей приведены на рис. В-4.

Кроме того, кабели управления выпускаются с панцирной оплеткой или без нее.

По виду использования кабели управления могут предназначаться для стационарной прокладки или гибкого соединения (подвижной эксплуатации).

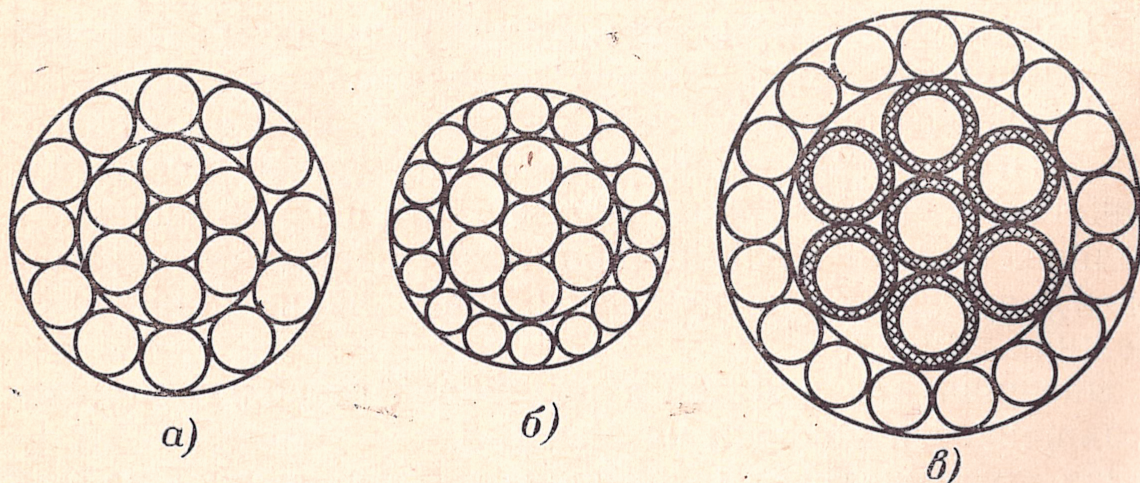


Рис. В-4. Принципиальная схема конструктивного выполнения сердечников кабелей управления

а — однородные; *б* — неоднородные; *в* — комбинированные.

Б. РАЗМЕРНЫЕ И ПАРАМЕТРИЧЕСКИЕ РЯДЫ

В соответствии с ГОСТ 18404-73 для кабелей управления установлены следующие размерные и параметрические ряды.

1. Ряд сечений токопроводящих жил:

0,03; 0,05; 0,08; 0,12; 0,20; 0,35; 0,5; 0,75; 1,0; 1,5; 2,5 мм².

2. Ряд числа изолированных жил однородных кабелей управления:

3, 4, 7, 14, 19, 27, 30, 37, 52, 61, 91, 108.

Установленные сочетания сечений токопроводящих жил и их числа в однородных кабелях управления приведены на рис. В-5.

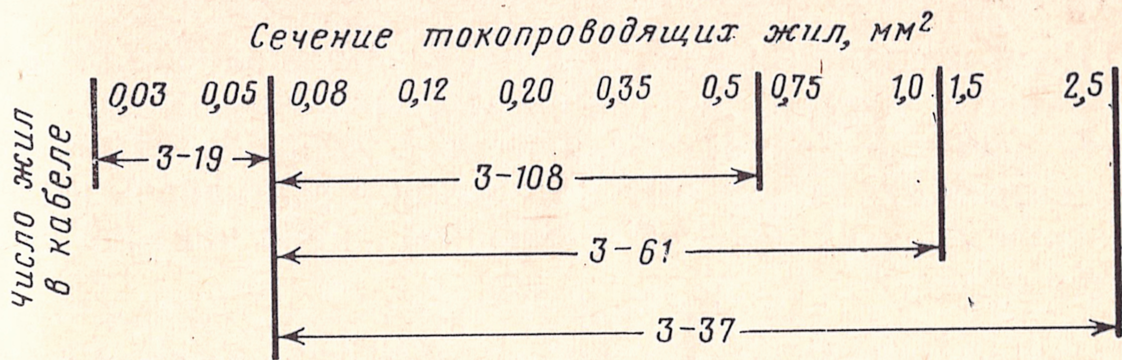


Рис. В-5. Сочетание сечений токопроводящих жил и их числа в однородных кабелях управления.

3. Ряд рабочих и испытательных напряжений приведен в табл. В-4.

Таблица В-4

Рабочее напряжение, В		Испытательное напряжение переменного тока (частота 50 Гц), В
переменного тока	постоянного тока	
100	150	2000
250	350	1500
500	700	2000
1000	1400	3000

В. ПРИНЦИПЫ МАРКООБРАЗОВАНИЯ

Принципы маркообразования кабелей управления регламентированы ГОСТ 18404-73. Каждому кабелю присваивают марку, состоящую из буквенных обозначений, указывающих (последовательно): группу кабелей (КУ), материал изоляции (табл. В-5), наличие общего экрана

(одинарного — Э, двойного — ЭЭ), материал оболочки (табл. В-5), наличие панцирной оплетки (П).

Таблица В-5

Материал изоляции или оболочки	Условное обозначение
Резина изоляционная и шланговая нормальной нагревостойкости	Р
Поливинилхлоридный пластикат	В
Полиэтилен	П
Полиэтилен-капрон	ПК
Фторопласт	Ф
Кремнийорганическая резина	С
Резина на основе фторкаучука	ФС

Если изоляция и оболочка кабелей выполнены из однотипного материала (например, резина-резина), то в обозначение марки кабеля входит только одна буква, соответствующая данному материалу. Если кабель имеет плоскую форму, перед обозначением марки кабелей ставится буква П.

Таблица В-6

Условное обозначение	Расшифровка обозначения
КУПР-П-37э×0,5-250	Кабель управления, однородный с изоляцией из полиэтилена, в резиновой оболочке, в панцирной оплетке, с 37 экранированными жилами сечением 0,5 мм², на рабочее напряжение 250 В переменного тока
П-КУФР 22/11э×0,20+ +22×0,35+(3× ×1,5)э+2×2,5+ РК-50-2-22-250	Кабель управления комбинированный, плоский с изоляцией из фторопласта, в резиновой оболочке, содержащий 49 цепей управления на рабочее напряжение 250 В, из которых 22 сечением 0,20 мм² (из них 11 экранированных), 22 сечением 0,35 мм², 3 сечением 1,5 мм² (в общем экране) 2 сечением 2,5 мм², и одну высокочастотную цепь по типу кабеля РК-50-2-22
КУС 1э×0,5 + 7× ×0,12-100	Кабель управления комбинированный с изоляцией и оболочкой из кремнийорганической резины, с одной экранированной жилой 0,5 мм² и семью жилами сечением 0,12 мм², на рабочее напряжение 100 В

Каждой конструкции кабеля присваивается обозначение, состоящее из марки, с добавлением цифр, последовательно указывающих число изолированных жил, сечение и рабочее напряжение переменного тока.

В кабелях с экранированными жилами к числу изолированных жил добавляется буква Э.

Число изолированных жил для кабелей с частью экранированных жил обозначается дробью, в числителе которой указывается общее количество жил, а в знаменателе — количество экранированных жил с буквой Э.

Число и сечение жил в кабелях с жилами разных сечений обозначается суммой, первое слагаемое которой представляет число жил большего сечения, а второе — число жил меньшего сечения. Примеры условных обозначений кабелей управления приведены в табл. В-6.

Глава первая

ОСНОВНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ И МЕТОДЫ ИСПЫТАНИЙ КАБЕЛЕЙ УПРАВЛЕНИЯ И КОНТРОЛЬНЫХ

Требования, предъявляемые к кабелям управления и контрольным, определяются конкретными условиями эксплуатации аппаратуры, в которой используются эти кабели.

Все эти требования можно разделить на следующие основные группы: требования к электрическим параметрам; требования по стойкости к механическим воздействиям; требования по стойкости к климатическим воздействиям; требования по стойкости к специальным видам воздействия; требования к надежности при комплексном воздействии всех климатических, механических и специальных факторов.

Требования к электрическим параметрам (электрическое сопротивление токопроводящих жил, рабочее напряжение, электрическое сопротивление изоляции) являются общими для кабелей контрольных и управления. Разница заключается в различии требований к механическим параметрам, а также требований по стойкости к климатическим, механическим и специальным видам воздействий.

1-1. ТРЕБОВАНИЯ К ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ПАРАМЕТРАМ

А. ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ ТОКОПРОВОДЯЩИХ ЖИЛ

К кабелям управления и контрольным, как и к большинству других кабельных изделий, предъявляется требование по минимальному значению электрического сопротивления токопроводящих жил.

Необходимость этого диктуется следующими соображениями: а) электрическое сопротивление токопроводящих жил кабелей управления определяет падение напряжения в цепи управления. Поскольку эти кабели предназначены для передачи сигналов малой мощности,

большое падение напряжения вызовет потерю значительной части полезного сигнала и приводит к необходимости усложнения приемной аппаратуры, что во всех случаях крайне нежелательно; б) электрическое сопротивление токопроводящих жил контрольных кабелей, предназначенных, в основном, для силового питания приборного оборудования, определяет потери мощности в цепях контроля; при увеличении сопротивления эти потери растут, что не только нежелательно для питающих энергетических установок, но и приводит к увеличению тепловыделения в токопроводящих жилах кабеля, росту температуры и ухудшению условий работы элементов конструкции кабелей.

Известно, что электрическое сопротивление токопроводящей жилы зависит от материала, из которого она изготовлена, ее сечения, длины и выражается формулой

$$R=\rho l/S, \qquad (1\text{-}1)$$

где R — электрическое сопротивление, Ом; ρ — удельное электрическое сопротивление, равное 0,02826 Ом·мм²/м для алюминия и 0,01724 Ом·мм²/м для меди; S — сечение токопроводящей жилы, мм²; l — длина токопроводящей жилы, м.

Таким образом, минимальное значение электрического сопротивления токопроводящих жил может быть достигнуто применением материалов высокой проводимости, таких как медь и алюминий, и рационального выбора номинального сечения.

Поскольку кабели управления и контрольные используются только на низких частотах (до 5 кГц), известные эффекты повышения электрического сопротивления токопроводящих жил переменному току по сравнению с сопротивлением постоянному току для них практически не имеют места. По этой причине электрическое сопротивление токопроводящих жил, как правило, регламентируется в виде значения электрического сопротивления токопроводящих жил постоянному току при +20 °С, приведенного к 1 км. Приведение измеренного сопротивления к указанным условиям производится по формуле (1-2)

$$R_{\text{пр}}=\frac{R_{\text{изм}}}{l\,[1+\alpha\,(t-20)]}, \qquad (1\text{-}2)$$

где $R_{\text{пр}}$ — приведенное сопротивление, Ом/км; $R_{\text{изм}}$ — сопротивление, Ом, измеренное при t, °С на длине l, км; α — температурный коэффициент электрического сопротивления, равный 0,00403 1/°С для алюминия и 0,00393 1/°С для меди.

Электрическое сопротивление жил, скрученных в кабель, всегда больше расчетного за счет большей ее длины по сравнению с физической длиной кабеля. Это увеличение длины жил при скрутке называется укруткой и характеризуется коэффициентом укрутки k, значение которого зависит от принятого шага скрутки и лежит в пределах 1,002—1,030.

Следовательно, электрическое сопротивление любой из скрученных жил равно:

$$R_{\text{ск}}=Rk. \qquad (1\text{-}3)$$

В кабельной технике широко используются металлы высокой проводимости — медь и алюминий.

Токопроводящие жилы кабелей управления, как правило, изготовляются из медной проволоки, контрольных кабелей — как из медной, так и из алюминиевой проволок. Электрическое сопротивление токопроводящих жил из медной проволоки регламентировано ГОСТ 1956-70, а токопроводящих жил из алюминиевой проволоки — ГОСТ 12137-66. Контроль сопротивления токопроводящих жил ведется как в процессе производства кабелей, так и на строительных длинах

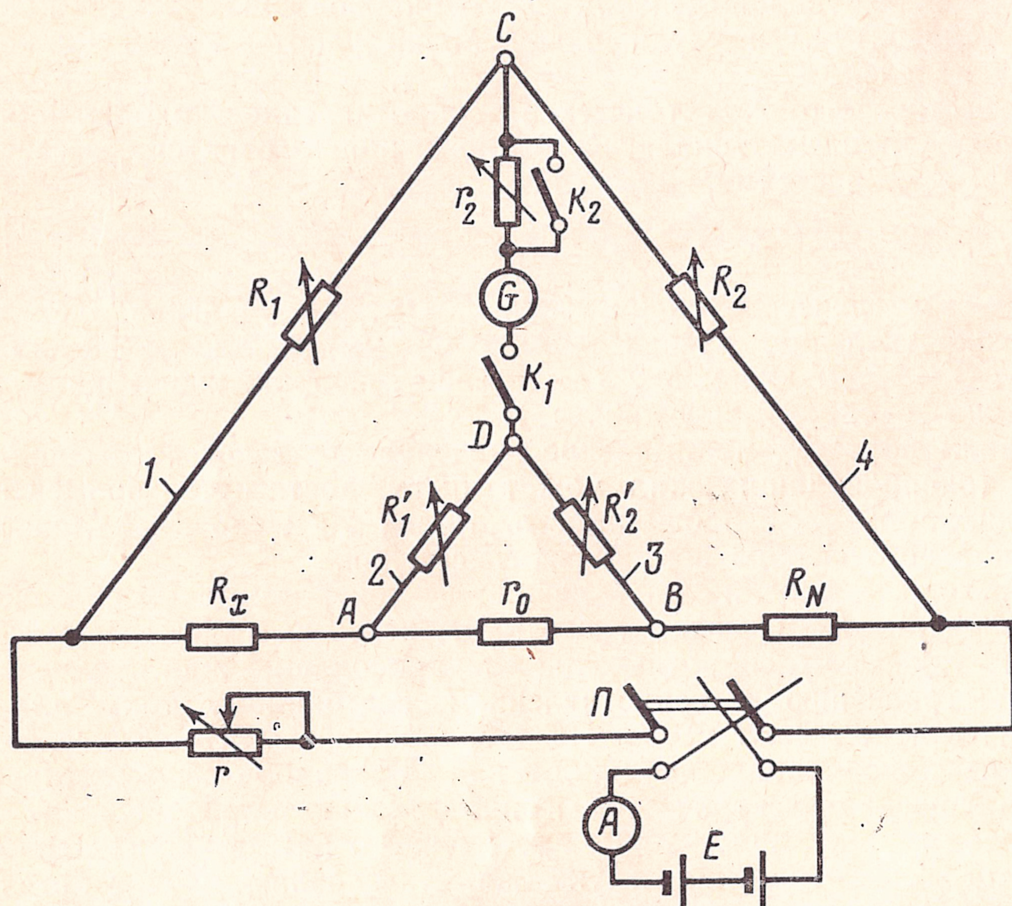


Рис. 1-1. Принципиальная схема двойного моста для измерения сопротивления токопроводящих жил.

R_x, R_N — измеряемое и образцовое сопротивления; R_1, R'_1 — декадные магазины сопротивления; R_2, R'_2 — сопротивления штепсельных магазинов; r_0 — сопротивление соединительного провода.

готовых кабелей. На практике, как правило, сопротивление токопроводящих жил определяется косвенным методом путем контроля конструкции токопроводящей жилы, измерения диаметра проволок, из которой она скручена. В случае отклонения диаметра отдельных проволок за допустимые пределы производят измерение электрического сопротивления токопроводящей жилы по ГОСТ 7229-67. Длина измеряемой токопроводящей жилы кабеля должна быть не менее 1 м.

Измерение проводится с помощью двойного моста, принципиальная схема которого приведена на рис. 1-1.

Б. РАБОЧЕЕ НАПРЯЖЕНИЕ

Другим основным электрическим параметром кабелей является рабочее напряжение.

Под рабочим напряжением понимается напряжение постоянного и переменного тока, которое длительное время может быть приложе-

но к токопроводящим жилам кабеля при сохранении их изоляцией электрической прочности.

Требования по рабочему напряжению определяются номинальным напряжением аппаратуры, в которой кабели используются. Эти требования регламентированы соответствующими стандартами и техническими условиями. Рабочее и испытательное напряжения кабелей управления, регламентированные ГОСТ 18404-73, приведены в табл. В-4.

Рабочее напряжение определяет материал и толщину изоляции токопроводящих жил. Проверка электрической прочности изоляции токопроводящих жил проводится как в процессе производства кабелей после наложения изоляции, так и на готовых кабелях. Эти

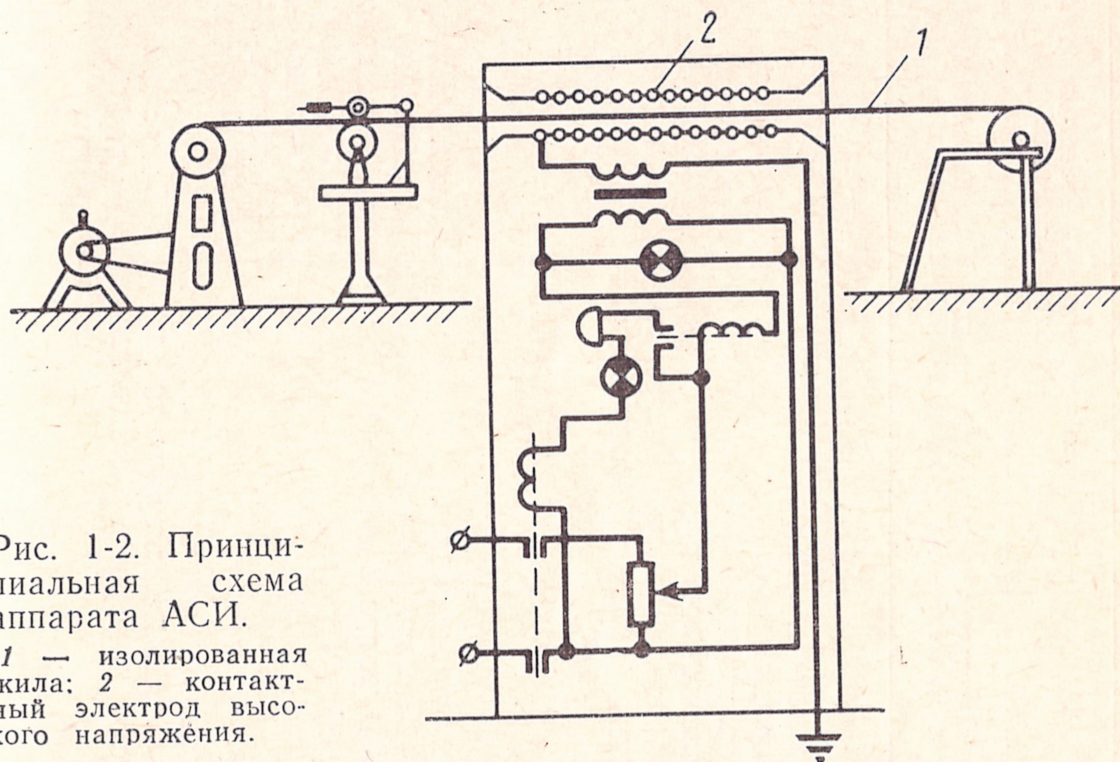


Рис. 1-2. Принципиальная схема аппарата АСИ.

1 — изолированная жила; *2* — контактный электрод высокого напряжения.

испытания преследуют цель выявить производственные дефекты изоляции, неизбежно возникающие даже при самой тщательной подготовке материалов и отлаженном процессе изолирования, а также позволяют отбраковать на начальной стадии дефектные места в изоляции. В изоляции токопроводящих жил всегда имеются инородные включения, снижающие толщину изоляции и перераспределяющие электрическое поле в месте их нахождения за счет разницы диэлектрической проницаемости материалов включения и изоляции. Невозможно также полностью исключить воздушные включения в изоляции, которые могут являться причиной ионизационных процессов в толще изоляции и последующего пробоя. Кроме того, в процессе испытаний напряжением должны быть выявлены и другие дефекты изоляции, в частности случайные механические повреждения (порезы, проколы и т. п.). Эти испытания, как правило, производятся на аппаратах сухого испытания (по ГОСТ 17397-72). Изолированная жила перематывается через аппарат, в котором напряжение прикладывается по внешней поверхности изоляции. Принципиальная схема аппарата приведена на рис. 1-2.

Испытываемая изолированная жила 1 перематывается с отдающего на приемное устройство — тару машины общей скрутки,

Таблица 1-1

Число изолированных жил	Схема сердечника кабеля	Способ подключения элементов кабелей. Схема испытания	
		Кабели, не имеющие общего экрана, панцирной оплетки или брони	Кабели, имеющие общий экран, панцирную оплетку или броню
3	1, 2, 3, 0	Неэкранированные жилы: 1) 1 против 2+3 2) 2 против 1+3 Экранированные жилы: Все жилы, соединенные вместе, против всех экранов, соединенных вместе	1+2 против 3+0 1+3 против 2+0
4	1, 2, 3, 4, 0	Неэкранированные жилы: 1) 1+2 против 3+4 2) 1+4 против 2+3 Экранированные жилы: Все жилы, соединенные вместе, против всех экранов, соединенных вместе	Каждая жила против всех остальных, соединенных вместе с общим экраном или панцирной оплеткой или броней или 1+2 против 3+4+0; 1+4 против 2+3+0; 1+2+3+4 против 0

Число изолированных жил	Схема сердечника кабеля	Способ подключения элементов кабелей. Схема испытания	
		Кабели, не имеющие общего экрана, панцирной оплетки или брони	Кабели, имеющие общий экран, панцирную оплетку или броню
7 и более		Неэкранированные жилы: Все нечетные жилы всех повивов против всех четных жил всех повивов Экранированные жилы; Все жилы всех повивов против всех экранов	Все нечетные жилы всех повивов против всех четных жил всех повивов, соединенных с общим экраном или панцирной оплеткой или броней Все жилы внешнего повива против общего экрана, панцирной оплетки или брони
		Жилы 1—7 экранированные; 8—23—неэкранированные: 1+7 — против всех экранов 8+10+12+14+16+18+20+22 против 9+11+13+15+17+19++21+23 8—23, соединенные вместе, против экранов 1—7, соединенных вместе	1+7 — против всех экранов 8+10+12+14+16+18+20+22 против 9+11+13+15+17+19+21+23 8—23, соединенные вместе, против экранов 1—7, соединенных вместе, и общего экрана, панцирной оплетки или брони

и проходит при этом через контактный электрод *2*, находящийся под высоким напряжением переменного тока промышленной частоты. Контактный электрод обычно выполняется в виде металлической трубки, внутри которой размещена группа стальных шариков, укрепленных по винтовой линии. При проходе через контактный электрод в дефектных местах изоляции происходит пробой (прогар изоляции). Под действием тока, возникающего в месте пробоя, срабатывает реле, которое размыкает цепь первичной обмотки высоковольтного трансформатора, останавливает привод перемоточного устройства и включает световой или звуковой сигнал.

В соответствии с принятыми нормами скорость прохождения изолированной жилы через аппарат и размеры контактного электрода высокого напряжения должны быть такими, чтобы каждая точка поверхности изоляции подвергалась воздействию испытательного напряжения не менее 0,06 с, чему обычно соответствует скорость перемотки через аппарат 170—200 м/мин.

Проверку электрической прочности изоляции жил готовых кабелей проводят путем кратковременного, в течение 1 мин, испытания напряжением переменного тока промышленной частоты, значительно превышающим рабочее напряжение.

Испытательное напряжение в вольтах определяется по эмпирической формуле

$$U_{исп}=2U_р+1000. \qquad (1\text{-}4)$$

Испытаниям подвергаются все физические длины кабелей. Испытания проводят по ГОСТ 2990-72. Поскольку кабели содержат большое количество изолированных жил, то проверка напряжением отдельно каждой жилы делает испытание чрезвычайно трудоемким. С целью снижения трудоемкости при испытаниях используются специальные схемы группового соединения изолированных жил, приведенные в табл. 1-1.

В. ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ ИЗОЛЯЦИИ

Электрическое сопротивление изоляции является основной характеристикой электроизоляционных материалов.

Для кабелей управления и контрольных , как и для подавляющего большинства других кабельных изделий, предъявляется требование по максимальному значению электрического сопротивления изоляции.

Необходимость этого требования обусловлена тем, что с уменьшением электрического сопротивления изоляции растут токи утечки между жилами, имеющими разные потенциалы, а также токи утечки на землю; это приводит не только к потерям мощности в цепях контроля и управления, но и к искажению передаваемых сигналов.

Для характеристики электроизоляционных свойств материала изоляции пользуются значением удельного объемного сопротивления ρ_V (Ом·см), являющегося величиной, обратной удельной проводимости γ, которая выражается в общем случае следующей простой зависимостью:

$$\rho_V=1/\gamma=1/(qn_0u), \qquad (1\text{-}5)$$

где q — заряд носителя, К; n_0 — число носителей в единице объема (1 см³); u — подвижность, см²/(с·В); γ — удельная проводимость, (Ом·см)⁻¹.

Конечность значения электрического сопротивления электроизоляционных материалов определяется током проводимости, который, в основном, обусловлен электронной и ионной (примесной) проводимостью диэлектрика.

Ток проводимости состоит из сквозного I_V, протекающего через толщу материала, и поверхностного I_S, протекающего по поверхности изоляции.

Соответственно различают объемную проводимость и поверхностную. Величина, обратная проводимости — электрическое сопротивление изоляции, представляет собой отношение напряжения постоянного тока (в вольтах), приложенного к изоляции к току утечки (в амперах), т. е.

$$R_{из}=U/(I_V+I_S). \qquad (1\text{-}6)$$

Учитывая, что $U/I_V=R_V$ есть объемное сопротивление изоляции, определяющее препятствие, создаваемое прохождению тока в толще изоляции; $U/I_S=R_S$ — поверхностное сопротивление, определяющее препятствие прохождению тока по поверхности изоляции, электрическое сопротивление изоляции в омах можно выразить следующим образом:

$$R_{из}=R_V R_S/(R_V+R_S). \qquad (1\text{-}7)$$

Электрическое сопротивление изоляции изолированной жилы, МОм·км определяют по формуле:

$$R_{из}=\frac{\rho_V}{2\pi}\ln\frac{R}{r}\,10^{-11}, \qquad (1\text{-}8)$$

где R и r — наружный и внутренний диаметр изоляции, см.

Сопротивление изоляции между двумя изолированными жилами, МОм·км:

$$R_{из}=\frac{\rho_V}{2\pi}\ln\left(\frac{2a}{r}\,\frac{R^2-a^2}{R^2+a^2}\right)10^{-11}. \qquad (1\text{-}9)$$

Минимальные значения электрического сопротивления изоляции кабелей управления, регламентированные ГОСТ 18404-73 приведены в табл. 1-2.

Таблица 1-2

Материал изоляции	Электрическое сопротивление изоляции, МОм·м		
	В нормальных условиях	При максимальной рабочей температуре	При относительной влажности воздуха до 98% и +40 °С
Поливинилхлоридный пластикат	$1\cdot10^4$	$1\cdot10^3$	$1\cdot10^3$
Полиэтилен	$1\cdot10^6$	$1\cdot10^5$	$1\cdot10^6$
Фторопласт	$1\cdot10^6$	$1\cdot10^4$	$1\cdot10^5$
Резина изоляционная	$1\cdot10^4$	$1\cdot10^3$	$1\cdot10^3$

Электрическое сопротивление изоляции токопроводящих жил кабелей измеряется по ГОСТ 3345-67 с помощью электронных тераомметров. Принцип работы тераомметра (рис. 1-3) заключается в том, что измеряемое сопротивление R_x, включается последовательно с образцовым сопротивлением R_0, образуя делитель напряжения, который питается стабилизированным напряжением. От нижней ступени делителя напряжение U_0 подается на усилитель, и при помощи магнитоэлектрического прибора со шкалой, градуированной в единицах сопротивления, определяется измеряемое сопротивление. Изменение предела измерения осуществляется изменением образцового сопротивления.

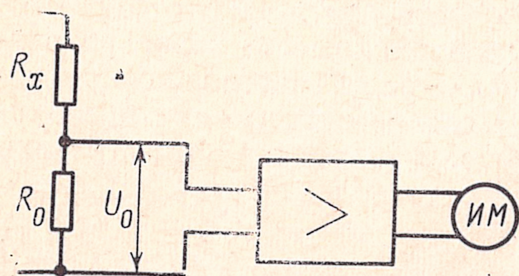


Рис. 1-3. Принципиальная схема измерения электрического сопротивления изоляции тераомметром.

Выпускаемые отечественной промышленностью тераомметры Е6-3, ЕК-6-7 обеспечивают измерение электрического сопротивления изоляции от 10^6 до 10^{17} Ом.

1-2. ТРЕБОВАНИЯ К МЕХАНИЧЕСКИМ ПАРАМЕТРАМ

В процессе монтажа и эксплуатации кабели могут подвергаться различным механическим воздействиям. Допустимая степень этих воздействий определяется механическими параметрами кабелей, к которым относится стойкость к перегибам, перемоткам, осевым закручиваниям, осевым закручиваниям с одновременным изгибом, вибрациям, ударам, линейным центробежным нагрузкам.

А. СТОЙКОСТЬ К ПЕРЕГИБАМ

При монтаже и подвижной эксплуатации кабели управления и контрольные подвергаются многократным перегибам.

Количество изгибов для кабелей, предназначенных для стационарной прокладки, определяется изгибами при монтаже и колеблется в пределах 5—10 циклов.

Количество изгибов кабелей, предназначенных для подвижной эксплуатации, может составлять несколько сотен и даже тысяч циклов.

Под стойкостью к перегибам понимают свойство кабеля сохранять работоспособность при воздействии или после воздействия изгибающих нагрузок.

Стойкость к перегибам оценивается количеством изгибов, допустимым для конкретного кабеля, на угол $\pm 90°$ при заданном радиусе изгиба (кратность изгиба) и допустимым натягивающим усилием.

Испытания на стойкость к перегибам проводятся по ГОСТ 12182.8-71 на установке, принципиальная схема которой приведена на рис. 1-4.

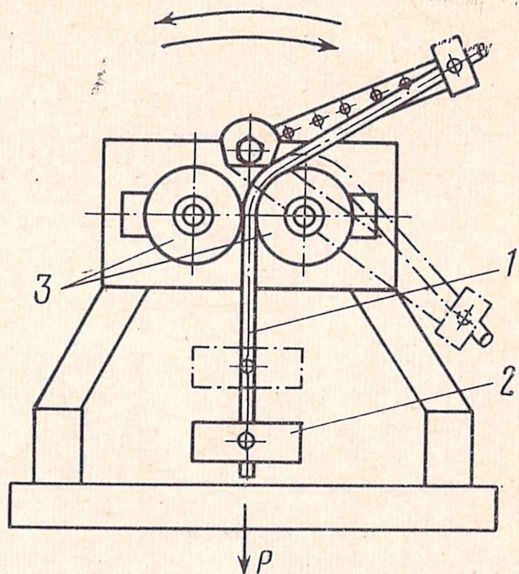


Рис. 1-4. Принципиальная схема установки для испытаний на перегибы.

1 — испытуемый образец; *2* — груз; *3* — сменные ролики.

Для кабелей управления кратность изгиба устанавливается обычно равной 3—15 наружным диаметрам кабеля в зависимости от гибкости кабеля. Натягивающее усилие, как правило, выбирается из соображения обеспечения плотного соприкосновения образца при проведении испытания на перегибы с поверхностью цилиндров, вокруг которых изгибается образец.

Контролируемыми параметрами кабеля при испытании на перегибы являются целостность токопроводящих жил, отсутствие повреждений наружной оболочки и сохранение изоляцией электрической прочности при испытании напряжением.

Б. СТОЙКОСТЬ К ПЕРЕМОТКАМ И ОСЕВЫМ ЗАКРУЧИВАНИЯМ

Требования по стойкости к перемоткам и осевым закручиваниям распространяются только на кабели управления, предназначенные для подвижной эксплуатации и периодического подключения к блокам передвижной аппаратуры или изделиям и отключения от них.

В процессе эксплуатации кабели подвергаются многократным, периодическим разматываниям с барабана или бухты (раскладкам), подключениям к аппаратуре (изделию) и, после окончания цикла работы, отключению, наматыванию (укладке) на тару, на которой кабели хранятся. Для оценки способности кабелей выполнять свои функции в условиях подвижной эксплуатации они подвергаются испытаниям на перемотки и осевые закручивания.

Стойкость к перемоткам оценивается допустимым количеством смоток-намоток с барабана на барабан с определенным, для данной конструкции кабеля, диаметром щеек, при заданной скорости и натяжении.

Испытания проводятся в соответствии с ГОСТ 12182.4-71 на установке, схема которой приведена на рис. 1-5.

Установка состоит из приемно-отдающего устройства, обеспечивающего перемотку образца кабеля длиной не менее 2 м со скоростью не менее 10 м/мин; сменных барабанов с диаметром шеек не более 10-кратного наружного диаметра испытываемого кабеля; механизма, обеспечивающего плавность пуска, останова и изменения направления перемотки; натяжного устройства.

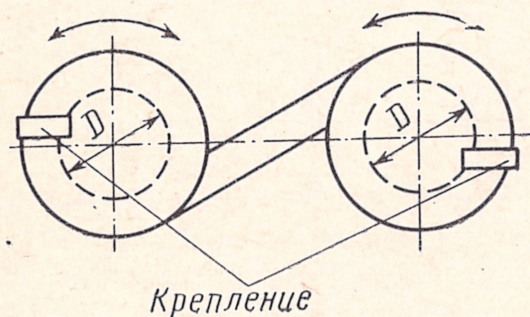


Рис. 1-5. Принципиальная схема установки для испытаний на перемотки.

D — диаметр шейки барабанов.

Цикл испытания заключается в двукратной перемотке образца с барабана на барабан таким образом, чтобы слои, растягиваемые в первом случае, были сжаты во втором случае.

Стойкость к осевому закручиванию и изгибу с одновременным осевым кручением оценивается допустимым количеством циклов осевого закручивания отрезка кабеля длиной не менее 2 м вокруг его оси на угол ±360° при определенном растягивающем усилии. Испытания на осевое закручивание проводятся в соответствии

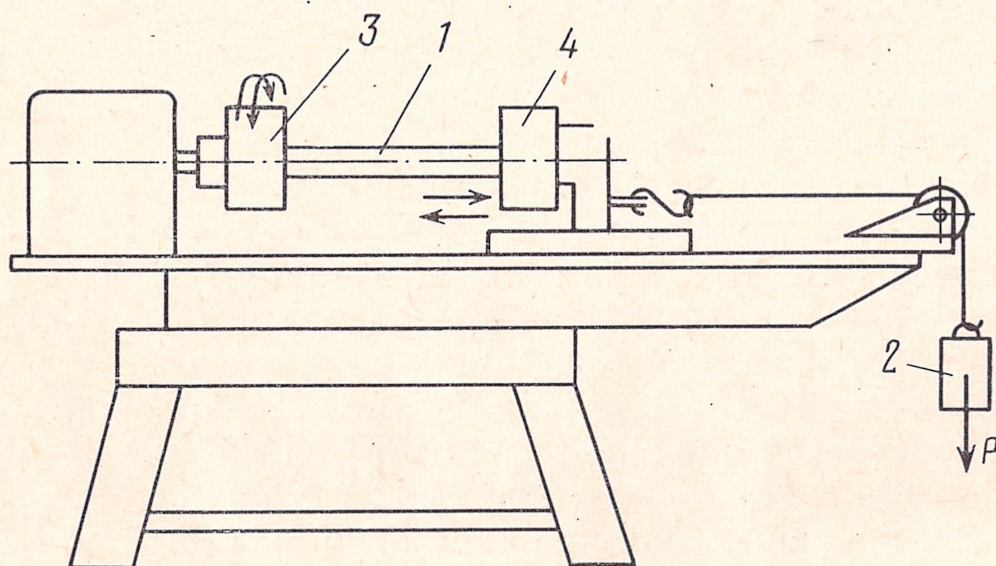


Рис. 1-6. Принципиальная схема установки для испытаний на осевое закручивание.

1 — испытуемый образец; *2* — груз; *3* — вращающийся зажим; *4* — зажим, имеющий свободное возвратно-поступательное перемещение.

с ГОСТ 12182.7-71 на установке, схема которой приведена на рис. 1-6. Установка состоит из зажима, вращающегося с частотой вращения 40—60 об/мин, угол вращения ±360°; зажима, имеющего свободное возвратно-поступательное перемещение; натяжного устройства — груза.

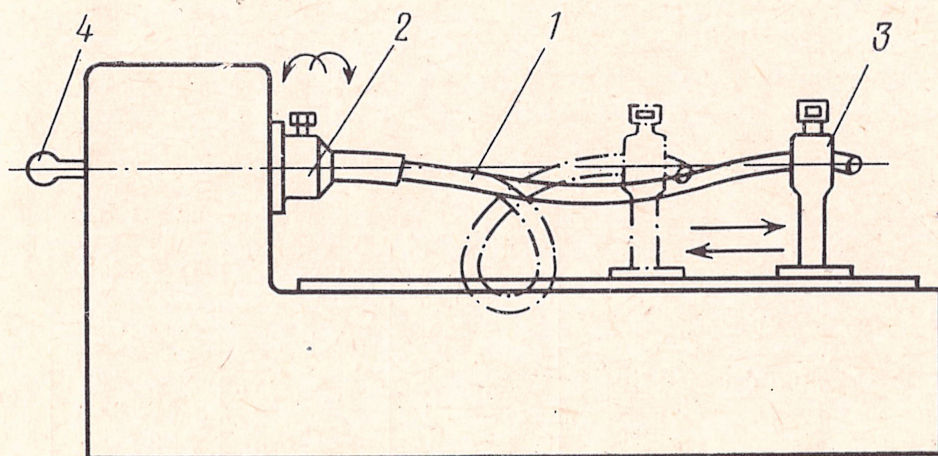


Рис. 1-7. Принципиальная схема установки для испытаний на изгиб с осевым кручением.

1 — испытуемый образец; *2* — вращающийся зажим; *3* — зажим с возвратно-поступательным движением; *4* — рукоятка для предварительного подкручивания образца.

Для испытания один конец образца закрепляют во вращающемся зажиме, другой — в зажиме, имеющем возвратно-поступательное перемещение, который под действием груза перемещается по направлению оси образца, создавая ему натяжение. Один цикл испытания заключается в том, что образец закручивается на 360°, возвращается в исходное состояние, закручивается в противоположном направлении на 360° и возвращается в исходное состояние.

Испытание на изгиб с осевым кручением проводится в соответствии с ГОСТ 12182.3-71 на установке, схема которой приведена на рис. 1-7.

Установка состоит из вращающегося зажима, зажима с возвратно-поступательным движением механизма, обеспечивающего вращение зажима до 6 оборотов с частотой вращения не более 100 об/мин и возвратно-поступательное движение другого зажима на участке 1,5 м со скоростью 20—30 м/мин. Цикл испытаний заключается в закручивании образца на заданный угол, сближении зажимов, растягивании образца до его раскручивания (исходного положения). Контролируемыми параметрами

при испытаниях на изгиб с осевым закручиванием являются: целостность токопроводящих жил, отсутствие повреждений наружной оболочки, сохранение изоляцией электрической прочности при испытании напряжением.

в. СТОЙКОСТЬ К ВИБРАЦИОННЫМ, УДАРНЫМ И ЛИНЕЙНЫМ НАГРУЗКАМ

В процессе транспортирования к месту использования, а также при эксплуатации кабели управления, как, впрочем, и многие другие кабельные изделия, подвергаются воздействию вибрационных, ударных и линейных (центробежных) нагрузок. Под действием этих нагрузок отдельные элементы кабелей могут разрушаться (обрывы токопроводящих жил, растрескивание изоляции и оболочки, разрушение панцирной оплетки и защитных броневых покровов).

Таблица 1-3

Воздействующие факторы	Значения характеристик			
	Диапазон частот, Гц	Максимальное ускорение g	Длительность удара, мс	Продолжительность испытания, ч, или количество ударов
Вибрационные нагрузки	1—600	10	—	9*—48**
	1—1 000	10	—	7,5—36
	1—1 200	15	—	4,5—24
	1—5 000	40	—	3—12
Ударные нагрузки:				
многократные	—	40	2—10	10 000
	—	75	2—6	4000
	—	150	1—3	4000
одиночные	—	150	1—3	9
	—	500	1—2	9
	—	1 000	0,2—1	9
Линейные центробежные нагрузки	—	25	—	10 мин
	—	50	—	—
	—	100	—	—

* При кратковременном воздействии.
** При длительном воздействии.

Количественно стойкость кабелей к этим видам воздействий, которые часто объединяются в понятие **механические факторы**, оценивается следующим образом: стойкость к вибрациям — временем воздействия вибрационных нагрузок определенной частоты и ускорения, допустимым для данного кабеля; стойкость к ударам — количеством ударов с максимальным ускорением и длительностью импульса удара; стойкость к линейным нагрузкам — временем воздействия центробежных нагрузок с максимальным ускорением. Общие требования к кабельным изделиям и общие методы их испытаний в части воздействия механических факторов установлены ГОСТ 16962-71 «Изделия электронной техники и электротехники. Механические и климатические воздействия. Требования и методы испытаний».

Значения характеристик механических факторов, действию которых могут подвергаться кабели управления, и методы испытаний на стойкость к этим видам воздействий установлены ГОСТ 18404-73 и приведены в табл. 1-3.

Способность кабелей управления противостоять разрушающему действию вибрации, ударов и линейных нагрузок и сохранять свои

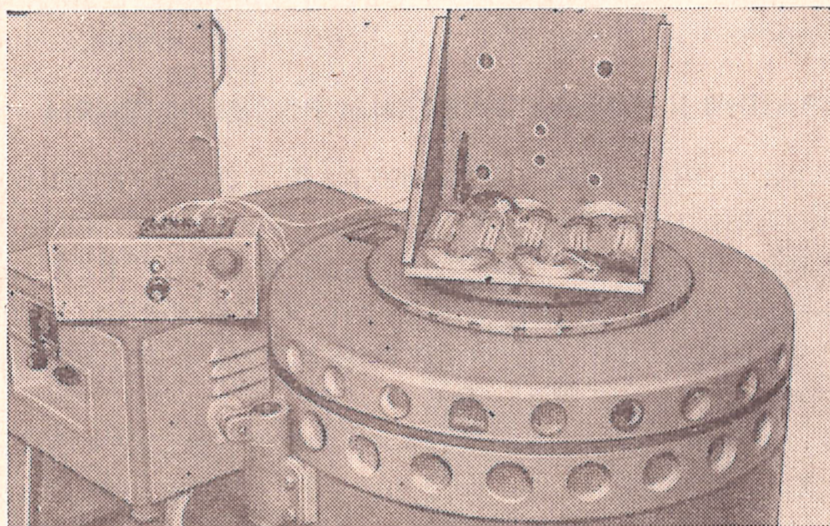


Рис. 1-8 Вибростенд типа ВУ-5/5000.

параметры после этих воздействий в пределах, заданных нормативно-технической документацией значений, оценивается путем проведения испытаний на вибропрочность, ударную прочность, воздействие одиночных ударов, воздействие линейных нагрузок. Испытания проводятся без электрической нагрузки на образцах кабеля длиной не менее 1 м. Образцы жестко крепятся к платформе испытатель-

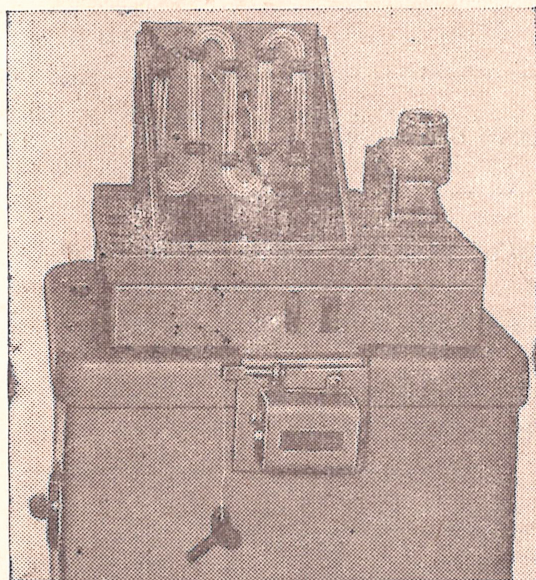


Рис. 1-9. Ударный стенд типа СПС-80.

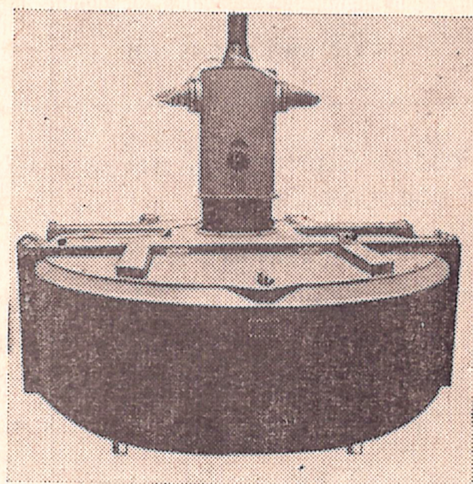


Рис. 1-10. Центрифуга типа Ц-5/300.

ного стенда хомутами либо плоскими пластинками с резиновыми прокладками в месте крепления. На рис. 1-8—1-10 изображены вибро- и ударный стенды с закрепленными на них образцами и центрифуга для проведения испытаний на линейные нагрузки.

Контролируемыми параметрами кабелей управления при испытаниях на стойкость к воздействию механических факторов являются: отсутствие видимых невооруженным глазом мест разрушения или повреждения наружной оболочки и защитных покровов, электрическая прочность изоляции при испытании напряжением.

1-3. ТРЕБОВАНИЯ К КЛИМАТИЧЕСКИМ ВОЗДЕЙСТВИЯМ

В процессе хранения, монтажа и эксплуатации кабели подвергаются различным климатическим воздействиям. Эти воздействия, в основном, зависят от климатической зоны, в которой эксплуатируются кабели, способа их монтажа и прокладки и особенностей аппаратуры, в которой используются кабели.

Виды и интенсивность климатических воздействий для всех кабельных изделий установлены ГОСТ 16962-71, а для кабелей управления — ГОСТ 18404-73.

А. НАГРЕВОСТОЙКОСТЬ

В процессе эксплуатации все кабельные изделия нагреваются. Нагрев кабелей управления происходит целиком за счет окружающей среды. Контрольные кабели нагреваются дополнительно за счет тепла, выделяемого в токопроводящих жилах.

Под нагревостойкостью понимают свойство кабельного изделия сохранять свои параметры при длительном

Таблица 1-4

Материал изоляции	Материал оболочки	Диапазон рабочих температур, °C
Резина нормальной нагревостойкости	Резина нормальной нагревостойкости	—50 ÷ +65
Полиэтилен	Поливинилхлоридный пластикат	—30 ÷ +70
Полиэтилен	Резина нормальной нагревостойкости	—50 ÷ +65
Полиэтилен-капрон	То же	—50 ÷ +65
Фторопласт	„ „	—50 ÷ +65
То же	Кремнийорганическая резина	—60 ÷ +200
Кремнийорганическая резина	То же	—60 ÷ +200
Фторопласт	Резина на основе фторкаучука	—40 ÷ +155

или кратковременном воздействии повышенной температуры.

Для кабелей управления установлен следующий ряд максимальных температур при длительной эксплуатации: 65, 70, 85, 100, 125, 155, 200, 250 °С.

Для серийно выпускаемых контрольных кабелей этот ряд пока значительно короче: 65 и 70° С; по мере разработки конструкций нагревостойких контрольных кабелей он может быть продлен до 200—250 °С.

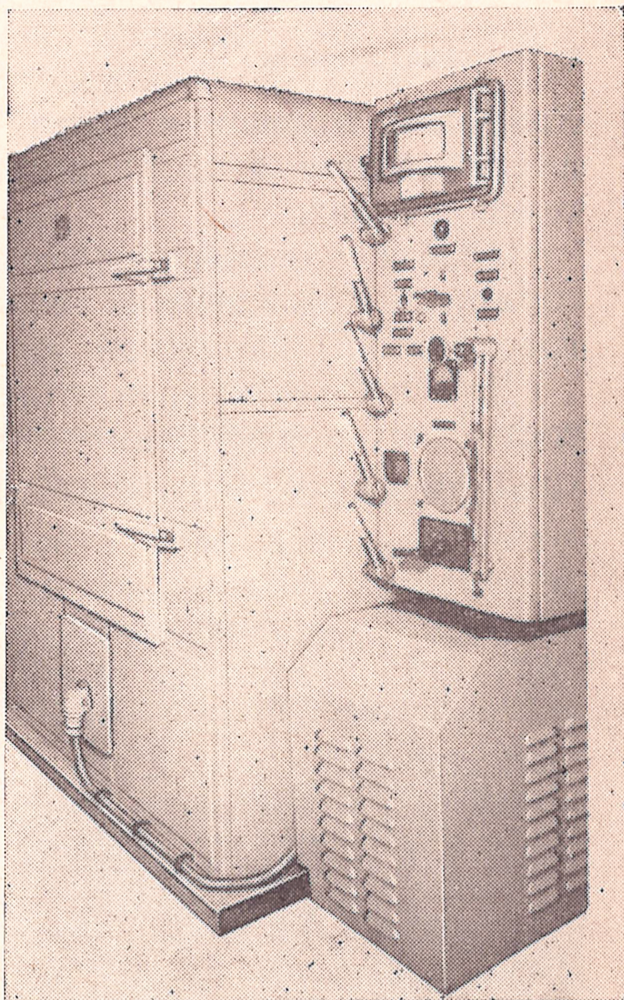


Рис. 1-11. Камера тепла типа ВН-5804.

Максимальная допустимая температура при длительной эксплуатации кабеля зависит от используемого материала изоляции и оболочки. В табл. 1-4 приведен допустимый температурный диапазон использования кабельного изделия (диапазон рабочих температур) в зависимости от материала изоляции и оболочки.

Кратковременная нагревостойкость или кратковременное воздействие повышенной температуры количественно оценивается двумя параметрами — максимальной температурой нагрева и допустимым временем использования кабеля при этой температуре. Требование стойкости к кратковременному воздействию повышенной температуры обычно предъявляется к кабелям управления одноразового использования. Испытание на длительное воздействие повышенной температуры (длительную нагревостойкость) проводят на образцах кабелей длиной не менее 1,5 м в течение 10 суток. Образцы помещают в камеру тепла (термостат), концы образцов выводят наружу. Внешний вид камеры тепла показан на рис. 1-11.

По окончании времени выдержки измеряют электри-

ческое сопротивление изоляции образцов. Образцы считаются выдержавшими испытание на нагревостойкость, если значение электрического сопротивления изоляции соответствует установленному для данного материала (см. табл. 1-2).

После извлечения образцов из камеры производят визуальный внешний осмотр с целью выявления трещин на наружной оболочке кабеля.

Б. ХОЛОДОСТОЙКОСТЬ

Хранение, монтаж и эксплуатация кабелей контрольных и управления может происходить при отрицательных температурах.

Под холодостойкостью понимается минимальная температура, при которой не происходит разрушения (растрескивания) наружной оболочки кабеля.

Для кабелей управления требования по холодостойкости составляют минус 50 или минус 60 °С; для контрольных кабелей — минус 50 °С.

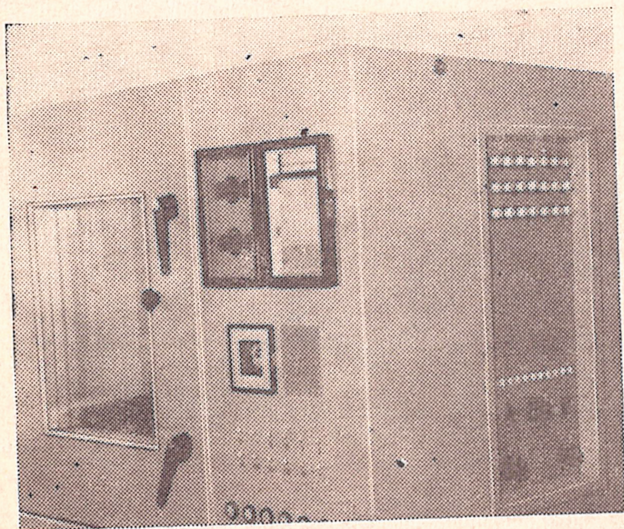


Рис. 1-12. Климатическая камера типа 3001.

В зависимости от условий эксплуатации кабелей различают холодостойкость в условиях фиксированного и гибкого монтажа.

Кабели с одними и теми же материалами изоляции и оболочки в условиях неподвижной прокладки могут эксплуатироваться при более низких температурах, чем в условиях эксплуатации с изгибами.

Холодостойкость кабелей количественно оценивается значением минусовой температуры, допустимым радиусом изгиба при этой температуре и условиями эксплуатации (подвижной или неподвижной).

Испытания на холодостойкость проводят в камере холода или в климатической камере. На рис. 1-12 изображен внешний вид климатической камеры типа 3001 (ГДР). Эта камера предназначена для проведения ис-

пытаний на нагревостойкость, холодостойкость, влагостойкость и солнечную радиацию.

При испытании кабеля, предназначенного для эксплуатации в условиях фиксированного монтажа, образцы, изогнутые по определенному, допустимому для данного кабеля радиусу, помещают в камеру холода и выдерживают при заданной минусовой температуре в течение 2 ч.

При испытании кабеля, предназначенного для эксплуатации в условиях изгибов, образцы выдерживают в камере 2 ч при заданной температуре, а затем, не извлекая из камеры, при той же температуре изгибают 5 раз на угол ±180° по радиусу, допустимому для данного кабеля.

Критерием холодостойкости при проведении испытаний является отсутствие трещин на поверхности защитной оболочки.

в. Стойкость к циклическому воздействию температур

Быстрый нагрев и охлаждение являются климатическими воздействиями, оказывающими наибольшее влияние на работоспособность кабелей. Циклическое изменение температур является наиболее частой причиной возникновения механических повреждений и снижения электрических параметров кабельных изделий. Испытания на циклическое воздействие температур проводят при минимальной и максимальной длительно допустимых температурах в камерах тепла и холода КТ-1-300, ВН-5804 (отечественные) и типа МПС и ТВ (ГДР) (рис. 1-11 и 1-12).

Испытание на циклическое воздействие температур заключается в выдержке кабелей в камере холода в течение 2 ч, а затем, с перерывом не более 5 мин, в камере тепла в течение 2 ч. Обычно образцы подвергаются воздействию не менее трех температурных циклов. Стойкость к циклическому воздействию температур оценивается по значению электрического сопротивления изоляции, измеренному в конце последнего цикла при максимальной рабочей температуре, и по отсутствию следов разрушения наружной оболочки.

г. Влагостойкость

Воздействие влаги вызывает коррозию металлических элементов кабелей (экранов, панцирной оплетки и т. п.)

и изменение электрических характеристик вследствие ее проникновения в изоляцию.

Под влагостойкостью понимают свойство кабельного изделия сохранять свои параметры при длительном пребывании в атмосфере с повышенной влажностью. Количественно влагостойкость может быть оценена временем допустимой эксплуатации во влажной среде. Однако, практически, для влагостойких кабелей это время сравнимо со сроком их хранения и эксплуатации.

Влагостойкость кабелей достигается применением влагостойких изоляционных материалов, не снижающих своих характеристик при воздействии влаги (резина, различные пластмассы), или конструированием специальных влагостойких оболочек, защищающих гигроскопическую изоляцию от проникновения влаги.

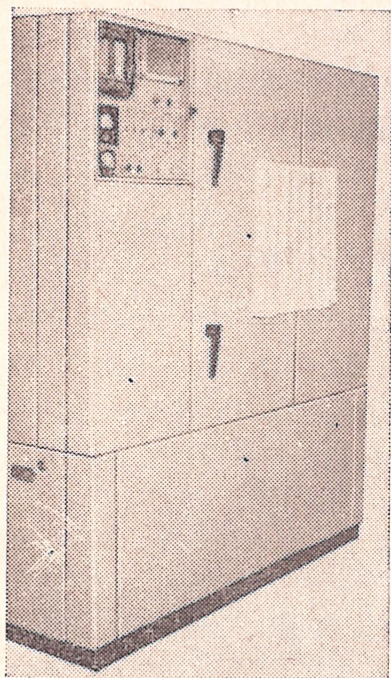


Рис. 1-13. Камера солнечной радиации типа КСР-1.

Оценка влагостойкости кабельных изделий проводится путем испытания на стойкость к воздействию повышенной 98%-ной влажности в отечественных камерах влажности КТВ-0,4-155 и камерах фирмы Карл Вейс (ГДР).

Критерием влагостойкости является значение электрического сопротивления изоляции, измеренное на образцах, длительное время (56 суток) находящихся в условиях постоянного увлажнения. Значения этого сопротивления для кабелей управления с различными материалами изоляции регламентированы ГОСТ 18404-73 и приведены в табл. 1-2.

д. ТРОПИКОСТОЙКОСТЬ

Под тропикостойкостью понимают свойство кабельного изделия сохранять свои параметры при воздействии факторов влажного тропического климата. Такими факторами являются высокая относительная влажность, сильная солнечная радиация и грибковая плесень. Как показали

многочисленные опыты, ультрафиолетовое излучение солнца во много раз больше увеличивает скорость старения полимерных материалов, чем повышенная температура.

Оценка стойкости кабельного изделия к воздействию солнечной радиации проводится путем ускоренных испытаний в камере солнечной радиации. На рис. 1-13 изображен внешний вид отечественной камеры солнечной радиации типа КСР-1.

При испытании образцы закрепляют на вертикальной стойке вращающегося внутри камеры столика (рис. 1-14) и подвергают пяти циклам облучения в каме-

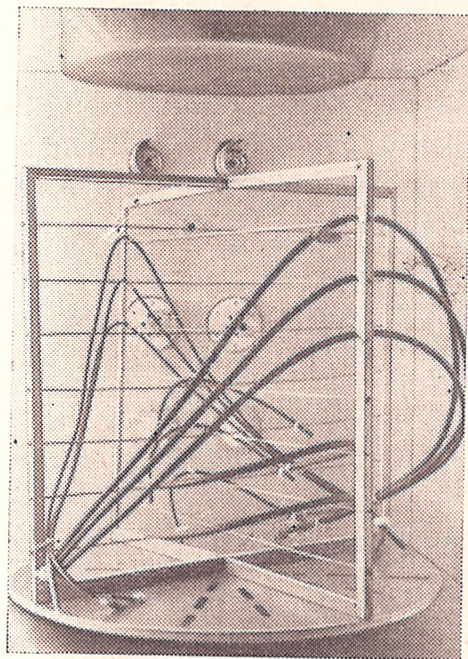


Рис. 1-14. Крепление образцов в камере солнечной радиации.

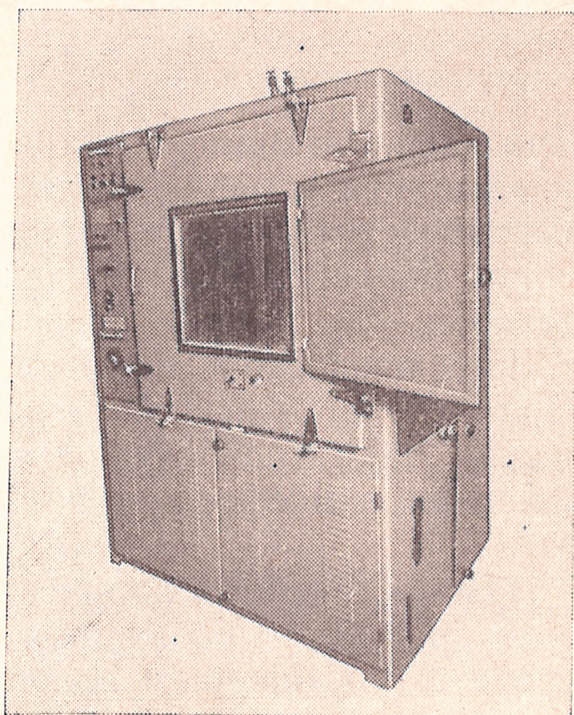


Рис. 1-15. Камера грибообразования типа КГ-1.

ре солнечной радиации в течение 24 ч и выдержке в камере влаги при 40 °С и относительной влажности 98% в течение 48 ч. Поскольку солнечная радиация вызывает снижение эластичности материалов и увеличение их хрупкости, в качестве основного контрольного параметра выбрана холодостойкость.

Стойкость кабельного изделия к поражению грибковой плесенью оценивается степенью биологического обрастания по пятибалльной шкале. Испытание проводят на

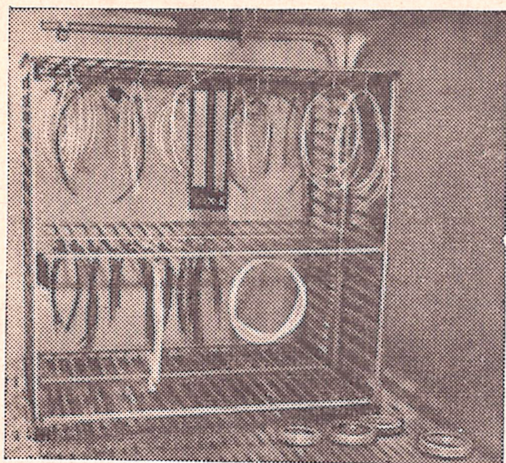


Рис. 1-16. Крепление образцов в камере грибообразования.

образцах кабеля в камере грибообразования по ГОСТ 16962-71. На рис. 1-15 и 1-16 приведен внешний и внутренний вид камеры грибообразования с расположенными в ней образцами кабельных изделий.

Степень биологического обрастания плесневыми грибками кабелей, предназначенных для эксплуатации в условиях влажного тропического климата, должна быть не выше 2 баллов.

Е. ОЗОНОСТОЙКОСТЬ

При эксплуатации на открытом воздухе или в закрытых помещениях в непосредственной близости к источникам высокочастотных или высоковольтных разрядов кабели могут подвергаться воздействию озонированного воздуха.

Под озоностойкостью следует понимать свойство материала наружной оболочки кабеля сохранять механические характеристики (не растрескиваться) при воздействии атмосферы с повышенной концентрацией озона.

Озоностойкость количественно оценивается допустимым временем пребывания кабельного изделия в атмосфере с повышенным содержанием озона, выраженным

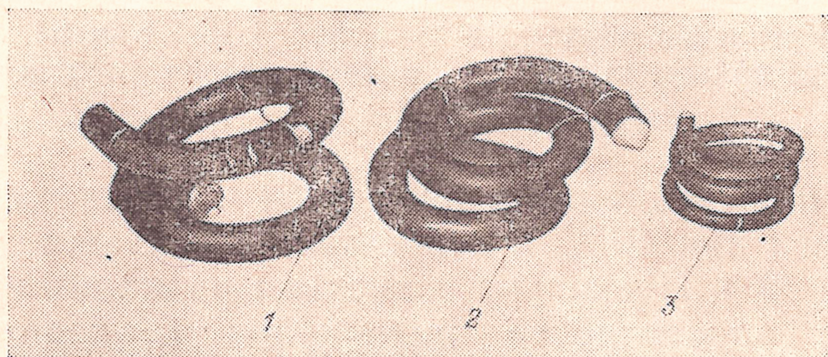


Рис. 1-17. Внешний вид образцов после воздействия озона.

1 — образец кабеля с оболочкой из резины марки ШБМ-45У; *2* и *3* — образцы с оболочкой из коливинилхлоридного пластиката рецептуры М-317.

в процентах, в течение которого защитная оболочка не подвергается разрушению. На рис. 1-17 приведен внешний вид кабелей типа КУШГ с оболочкой из резины ШБМ-45У и поливинилхлоридного пластиката марки М-317, подвергшихся воздействию атмосферы с 0,015%-ным содержанием озона.

На образце кабеля с оболочкой из резины ШБМ-45У четко видно разрушение оболочки.

1-4. ТРЕБОВАНИЯ К СПЕЦИАЛЬНЫМ ВИДАМ ВОЗДЕЙСТВИЙ

В процессе эксплуатации и хранения кабели управления и контрольные могут подвергаться специфическим, присущим аппаратуре или изделиям, в которых они применяются, видам воздействий, которые нельзя отнести ни к климатическим, ни к механическим воздействиям. К таким специфическим видам воздействий относятся химические воздействия, открытое пламя, внутреннее давление воздуха или газа, внешнее гидравлическое давление, механические нагрузки, не предусмотренные технической документацией, возникающие в результате нарушения потребителями правил монтажа эксплуатации и т. п.

А. СТОЙКОСТЬ К ХИМИЧЕСКОМУ ВОЗДЕЙСТВИЮ АГРЕССИВНЫХ СРЕД

К агрессивным средам относятся бензин, керосин, различные масла, кислоты, щелочи и пр. Во многих случаях воздействие этих сред приводит к снижению электрических и механических характеристик кабельных изделий. Соприкосновение с бензином, маслом, керосином и другими веществами может привести к коррозии металлических элементов кабелей, набуханию или разрушению изоляционных и защитных покровов.

Количественно стойкость кабелей к воздействию агрессивных сред оценивается допустимым временем пребывания в той или иной агрессивной среде с определенными концентрацией находящихся в ней химических веществ и температурой.

Критерием оценки стойкости к воздействию агрессивных сред того или иного кабельного изделия является степень набухания материалов изоляции или оболочки, определяемая по увеличению их размеров и массы, и изменение электрических характеристик.

Б. НЕГОРЮЧЕСТЬ

В проекте рекомендаций МЭК кабели, подвергающиеся в процессе эксплуатации воздействию открытого огня, делятся на две категории: огнестойкие и нераспространяющие горения.

Под огнестойкостью кабеля понимается его свойство сохранять работоспособность при и после продолжительного воздействия на него открытого пламени [Л. 5].

Испытание на огнестойкость проводят на образце длиной не менее 1 м. К токопроводящим жилам кабеля прикладывается рабочее напряжение. Образец помещают в пламя горелки, параллельно ей так, чтобы низшая точка кабеля была на 75 мм выше горелки. Образец в течение 3 ч подвергают одновременному воздействию на-

пряжения и пламени. Пламя, получаемое от газовой горелки, должно быть в виде трубки длиной 610 мм при 750 °С.

Кабель считается огнестойким, если ток утечки в изоляции не превысит установленного допустимого и кабель через 12 ч после удаления пламени выдержит воздействие рабочего напряжения.

Только кабели с минеральной изоляцией и изоляцией из кремнийорганической резины удовлетворяют требованиям огнестойкости.

Под стойкостью кабелей не распространять горения понимается его свойство гаснуть после удаления пламени. Количественно стойкость кабелей к нераспространению горения оценивается временем, в течение которого кабель гаснет после удаления пламени, и размером обугленного участка.

Испытание на нераспространение горения регламентировано ГОСТ 12176-66.

в. СТОЙКОСТЬ К ВОЗДЕЙСТВИЮ ВНУТРЕННЕГО И ВНЕШНЕГО ДАВЛЕНИЙ

Под стойкостью кабельного изделия к внутреннему и внешнему давлениям следует понимать сохранение его оболочкой герметичности при воздействии на нее внутреннего избыточного давления газа или внешнего гидравлического давления. Это требование относится к кабелям управления и контрольным, предназначенным для эксплуатации в воде, в частности для управления устройствами, используемыми для геологических, биологических и других исследований морского дна и толщи воды рек, морей и океанов; для подводной разведки и добычи полезных ископаемых и т. п. Поскольку внутри кабеля (под оболочкой) всегда имеются воздушные каналы, то внутреннее избыточное давление в кабеле препятствует распространению воды вдоль кабеля при механическом повреждении оболочки.

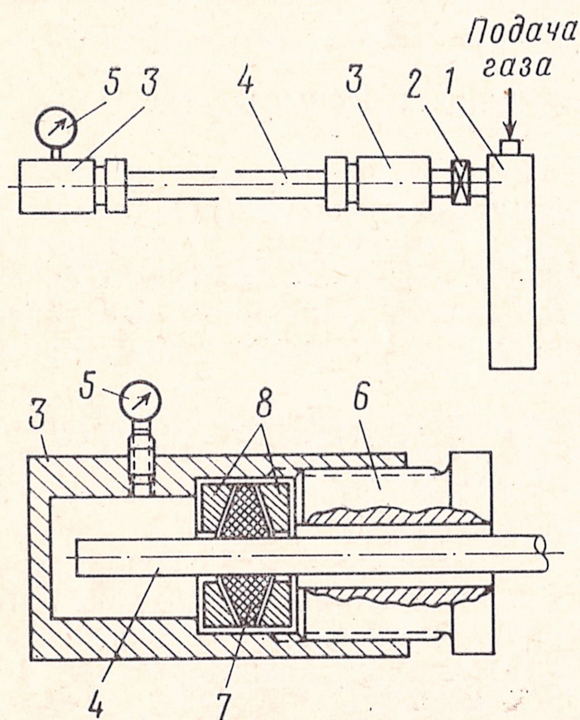


Рис. 1-18. Принципиальная схема установки для испытаний на внутреннее давление.

Количественно стойкость кабелей к воздействию внутреннего и внешнего давлений оценивается допустимым давлением и временем его приложения.

Критерием стойкости кабеля к внутреннему давлению являются сохранение герметичности оболочки и допустимое увеличение диаметра кабеля.

Критерием стойкости кабеля к внешнему давлению является также сохранение его оболочкой герметичности и установленного уровня электрических характеристик. Проверку стойкости кабелей управления к внутреннему и внешнему давлениям проводят по методике, регламентированной ГОСТ 18404-73.

Принципиальная схема и внешний вид установки для проведения испытаний на внутреннее давление приведены на рис. 1-18 и 1-19.

Для испытания образец кабеля с обеих сторон ровно отрезают в плоскости, перпендикулярной оси кабеля. С каждого конца образец кабеля *4* (рис. 1-18) с помощью гайки *6*, металлических колец *8* и резинового кольца *7* уплотняют в корпус сальника *3*. Один саль-

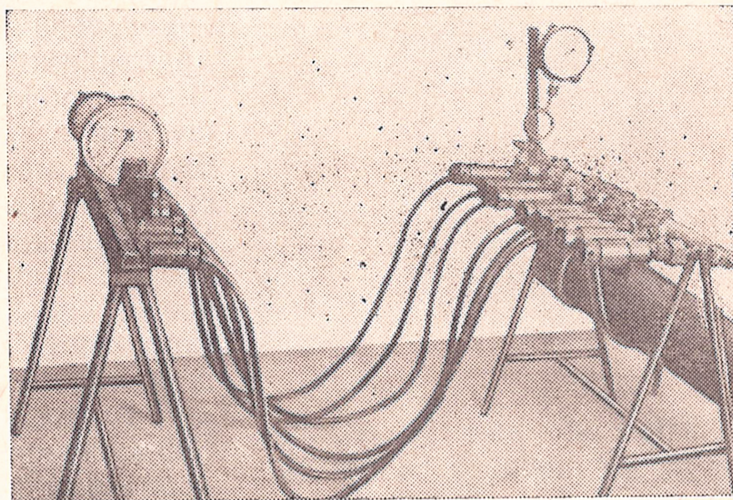


Рис. 1-19. Внешний вид установки для испытаний на внутреннее давление.

ник с уплотненным концом кабеля через автоматический клапан *2* подсоединяют к распределительной гребенке *1*, другой сальник, на другом конце кабеля, снабженный манометром *5*, располагают свободно. Сухой воздух или азот через распределительную гребенку и автоматический клапан подается под внутреннюю оболочку кабеля

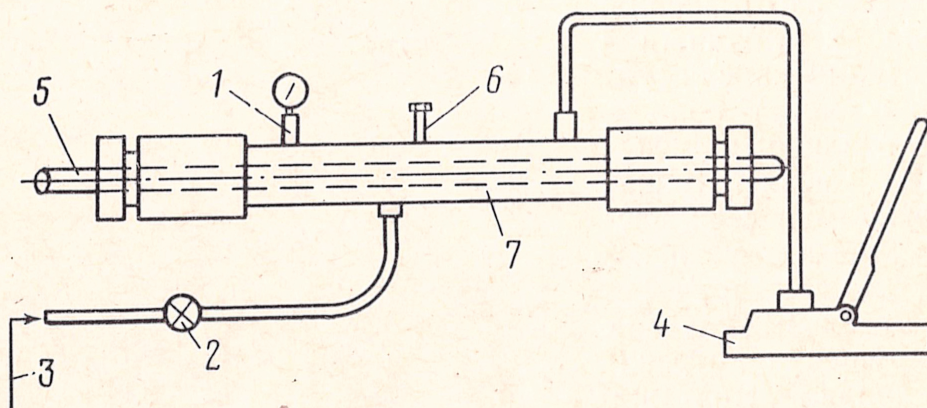


Рис. 1-20. Принципиалньая схема установки для испытаний на внешнее гидравлическое давление.

до тех пор, пока закрепленный на противоположном конце кабеля манометр *5* не покажет установившееся давление заданного значения. Герметичность оболочки проверяют по отсутствию утечки газа через защитную оболочку при погружении испытываемого образца в воду.

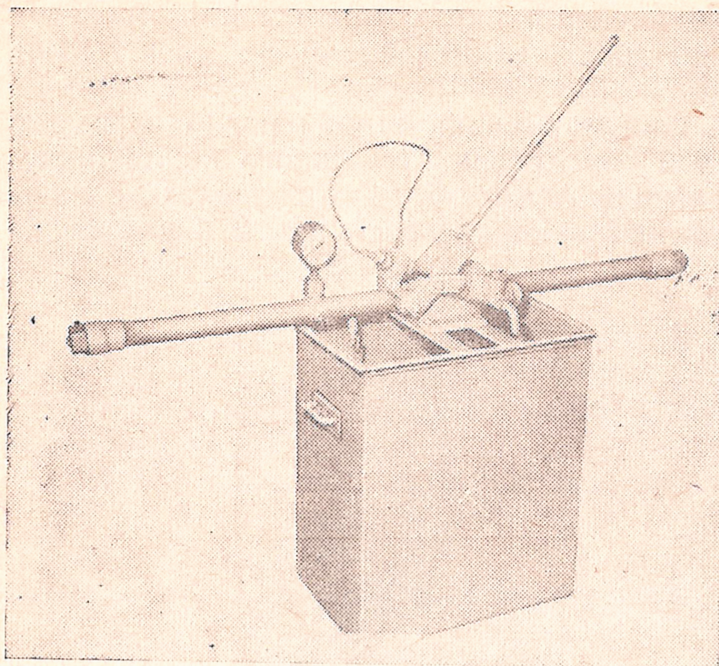


Рис. 1-21. Внешний вид установки для испытаний на внешнее гидравлическое давление.

Принципиальная схема и внешний вид установки для проведения испытаний на внешнее гидравлическое давление приведены на рис. 1-20 и 1-21.

При испытании образец кабеля помещают в трубу, соединенную с гидравлическим насосом. Длина образца, находящегося в трубе, должна быть не менее 1 м. Места выхода концов образца из трубы герметизируют с помощью резиновых сальников. Трубу заполняют воздействующей жидкостью и создают требуемое давление. Герметичность оболочки проверяют по отсутствию течи воздействующей жидкости из-под оболочки с выведенных концов кабеля. В процессе воздействия гидравлического давления и после его снятия контролируют изменение электрического сопротивления изоляции.

г. ИССЛЕДОВАНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ КАБЕЛЕЙ УПРАВЛЕНИЯ

В процессе изготовления, монтажа и подвижной эксплуатации кабели управления могут подвергаться различным механическим воздействиям, включающим в себя растягивающие нагрузки, изгибы и осевые закручивания. В отдельных случаях при нарушении потребителем правил монтажа и эксплуатации эти кабели могут потерять геометрическую устойчивость, образуя так называемые «спирали» или фонари (рис. 1-22 и 1-23). Попытки теоретического обоснования указанных явлений на основе хорошо разработанной

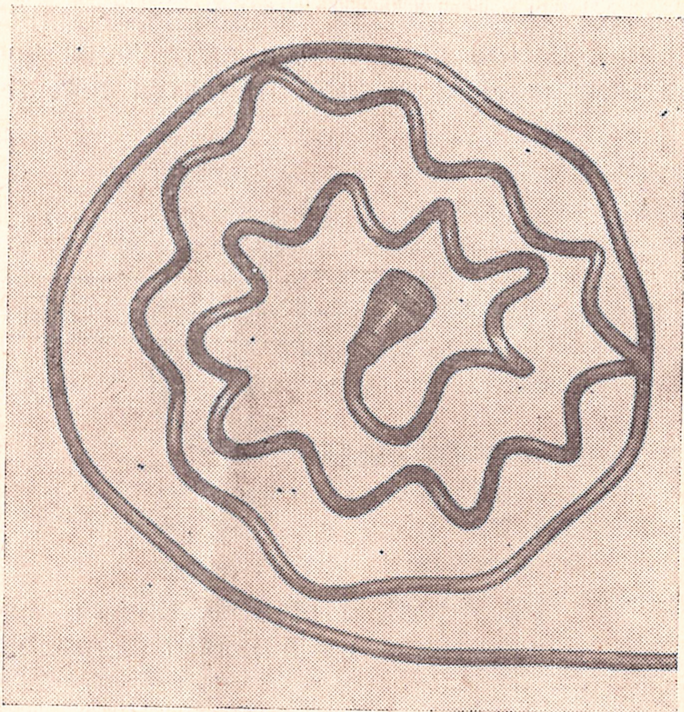


Рис. 1-22. Внешний вид кабеля управления, потерявшего геометрическую устойчивость (образование «спирали»).

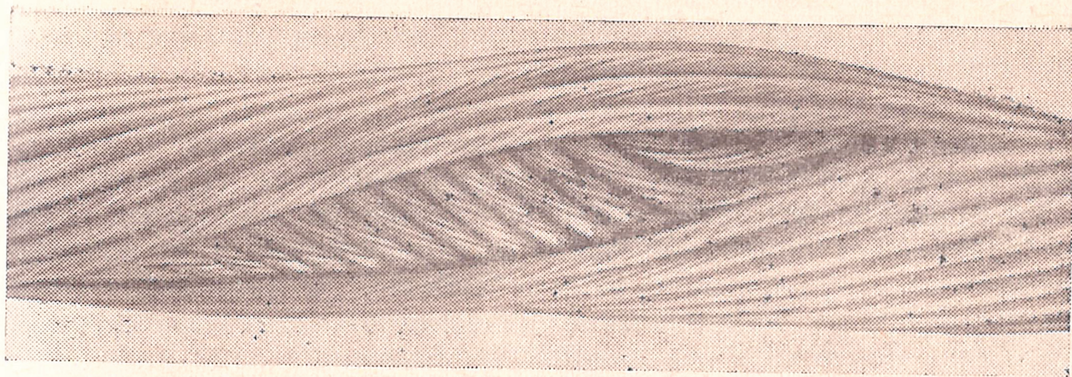


Рис. 1-23. Внешний вид сердечника кабеля управления, потерявшего геометрическую устойчивость (образование «фонарей»).

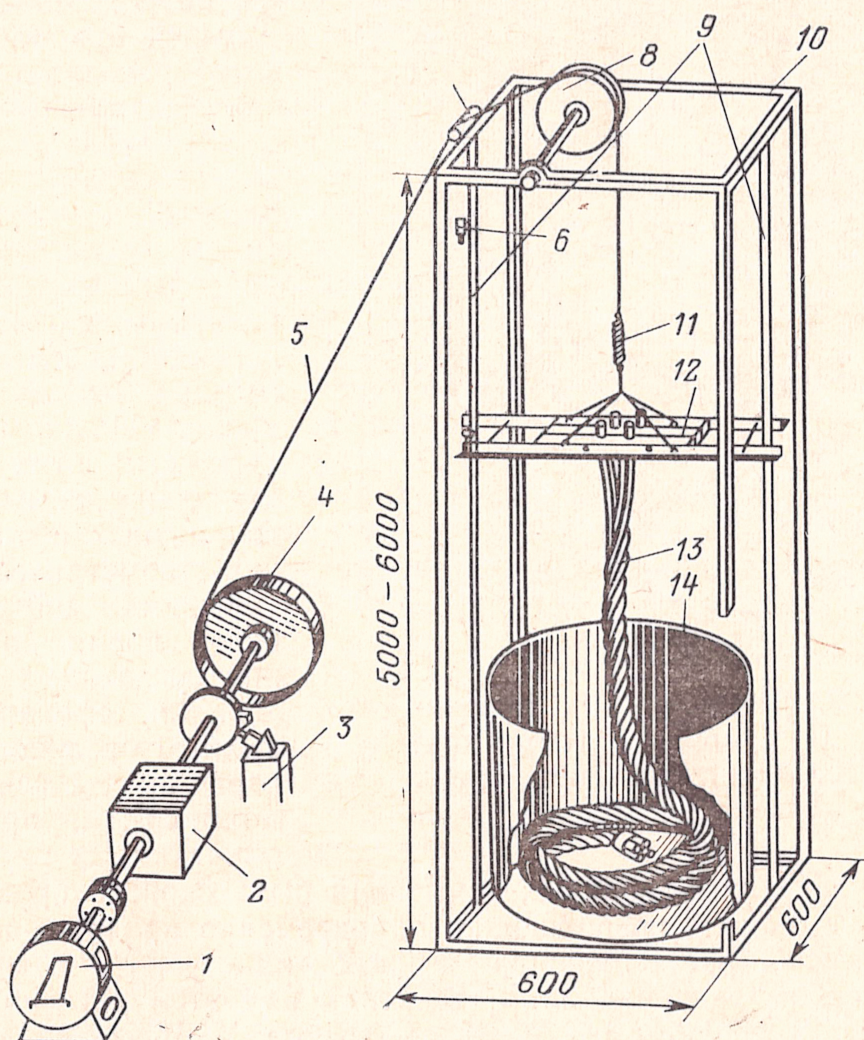


Рис. 1-24. Внешний вид установки для испытания кабелей на геометрическую устойчивость.

1 — электродвигатель; *2* — редуктор; *3* — выключатель концевой; *4* — колесо тяговое; *5* — трос; *6* — выключатель концевой; *7* — ролик промежуточный; *8* — ролик направляющий; *9* — стойки направляющие; *10* — шахта; *11* — пружина; *12* — устройство, имитирующее разъем; *13* — кабельный ствол; *14* — цилиндр направляющий.

теории скрутки стальных канатов пока не дали ощутимых результатов. По-видимому, это связано с многокомпонентной конструкцией сердечников кабелей управления (многопроволочная конструкция токопроводящих жил, изоляция, скрепляющие обмотки и т. п.), не позволяющей делать упрощающие допущения.

Исследования геометрической устойчивости многожильных кабелей управления проводили чисто эмпирическим путем, испытывая различные конструктивные варианты кабелей на установках, имитирующих различные механические воздействия, которые могут возникнуть при монтаже и подвижной эксплуатации этих кабелей.

Основными целями этих исследований являлись, во-первых, выбор оптимальных конструктивных параметров сердечников кабелей управления (шаги и направление скрутки изолированных жил, шаги и направления обмотки лентами и т. п.), обеспечивающих их максимальную геометрическую устойчивость, и, во-вторых, создание четкой инструкции по правилам монтажа и эксплуатации этих кабелей у потребителей, позволяющей при прочих равных условиях избегать образования «спиралей» и «фонарей».

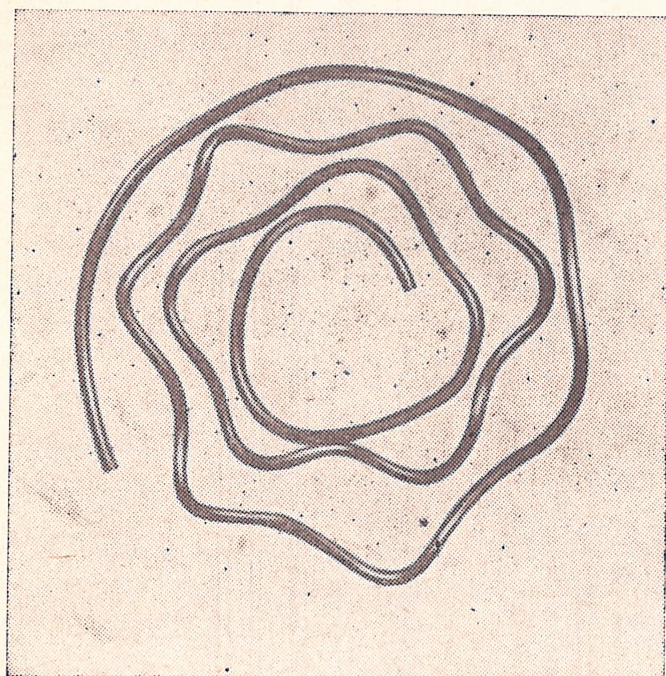


Рис. 1-25. Внешний вид образца кабеля потерявшего геометрическую устойчивость при испытании.

Имитация эксплуатационных воздействий может быть произведена раздельно на установках, воспроизводящих знакопеременные изгибы, перемотки и осевые закручивания. Однако при испытаниях на этих установках даже самых неблагоприятных с точки зрения геометрической устойчивости образцов кабелей время до появления указанных «спиралей» и «фонарей» настолько велико, что не дает практической возможности проведения объективных исследований. Для ускорения указанных испытаний была сконструирована специальная установка, позволяющая одновременно прикладывать к образцам кабелей растягивающие и изгибающие нагрузки и подвергать их осевым закручиваниям. Внешний вид этой установки показан на рис. 1-24. Образцы кабелей длиной 5—7 м укладываются в бухту. Нижний конец бухты неподвижно крепится к полу, а верхний с помощью изображенных на рисунке механизмов периодически поднимается, разворачивая кабель, и опускается, укладывая его снова в бухту. Практически испытания на этой установке имитируют иногда встречающийся в эксплуатации неправильный метод развертывания и свертывания кабелей управления. В результате после определенного количества циклов подъема и опускания образцов

кабелей на некоторых из них образуются «спирали» или «фонари», довольно точно воспроизводящие подобные дефекты, имеющие место при неправильной эксплуатации кабелей управления у потребителей (рис. 1-25).

Таким образом, ускоренные испытания кабелей управления на геометрическую устойчивость действительно дают возможность не только выбирать наиболее устойчивые конструкции кабельных сердечников, но, и, главное, сформулировать основные положения правил монтажа и эксплуатации этих кабелей.

Поскольку при монтаже кабели управления запаиваются с двух сторон в разъемы, то и при проведении указанных испытаний должны быть созданы условия, имитирующие разъемы. Это тем более необходимо, что при отсутствии такого оконцевания кабелей любые механические воздействия не могут привести к образованию «спиралей» и «фонарей», так как дебаланс внутренних напряжений и моментов, являющийся, по-видимому, основной причиной потери кабелями геометрической устойчивости, проявляется в этом случае в виде взаимного смещения повивов изолированных жил и выхода некоторых из них за торец оболочки, как это показано на рис. 1-26.

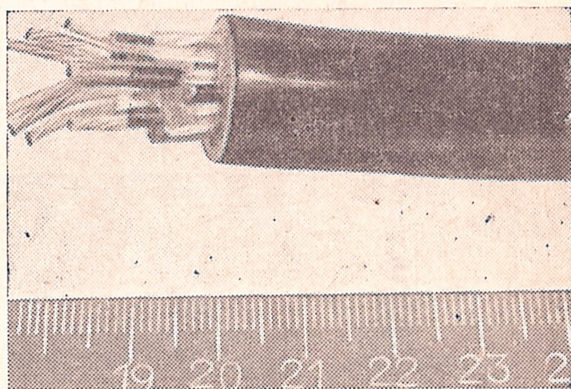


Рис. 1-26 Смещение повивов в кабеле при испытании на геометрическую устойчивость.

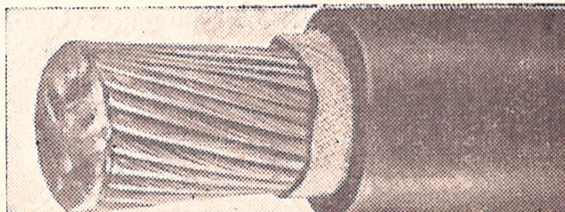


Рис. 1-27. Образец кабеля с запаянными жилами.

В связи с этим все токопроводящие жилы образцов кабелей, предназначенных для испытаний на геометрическую устойчивость, запаиваются вместе с обоих концов (рис. 1-27). Испытания могут проводиться как на отдельных кабелях, так и на кабельных стволах, состоящих из двух, трех или четырех кабелей. Предпочтительнее испытывать кабельные стволы, так как, во-первых, они имитируют наиболее частый случай эксплуатации кабелей управления, во-вторых, позволяют одновременно испытывать кабели с разными конструкциями сердечников и наглядно сравнивать их геометрическую устойчивость (рис. 1-28) и, наконец, в-третьих, из чисто экономических соображений. Подвижное приспособление установки, имитирующее разъем, показано на рис. 1-29.

Электрическая схема установки для испытания кабелей управления на геометрическую устойчивость показана на рис. 1-30.

Геометрическая устойчивость той или иной конструкции кабеля определяется количеством циклов подъемов и опусканий образца кабеля до появления «спирали» или «фонаря». Поскольку, как правило, «спираль» образуется постепенно, то фиксируются как начало образования «спирали», так и образование ее устойчивой формы. Для сравнительной оценки геометрической устойчивости кабелей разных конструкций, помимо количества циклов подъема и опуска-

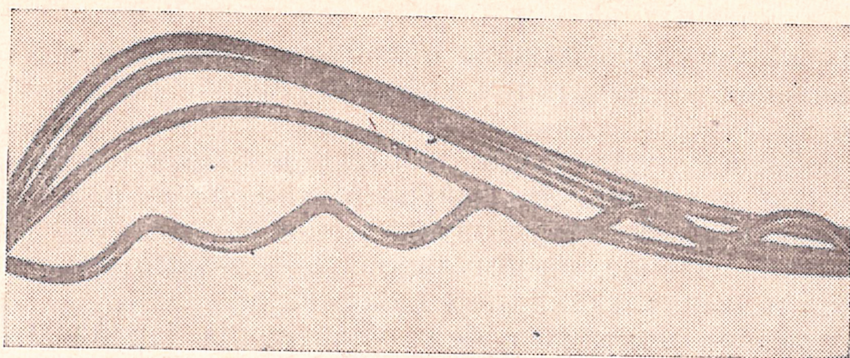


Рис. 1-28. Внешний вид образцов кабелей с различными конструкциями сердечников при испытании на геометрическую устойчивость.

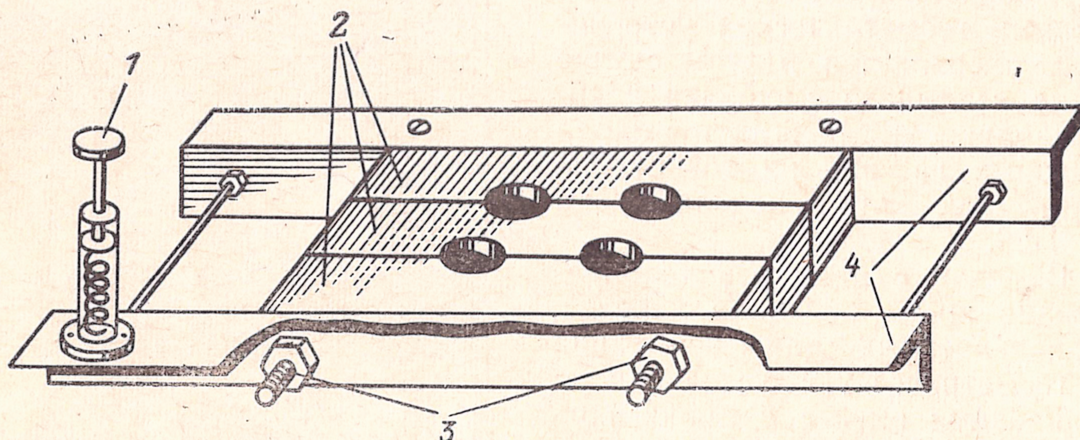


Рис. 1-29. Подвижное устройство установки для испытания на геометрическую устойчивость, имитирующее разъем.

1 — устройство включения кольцевого выключателя; *2* — планки текстолитовые; *3* — болты стягивающие; *4* — уголки алюминиевые.

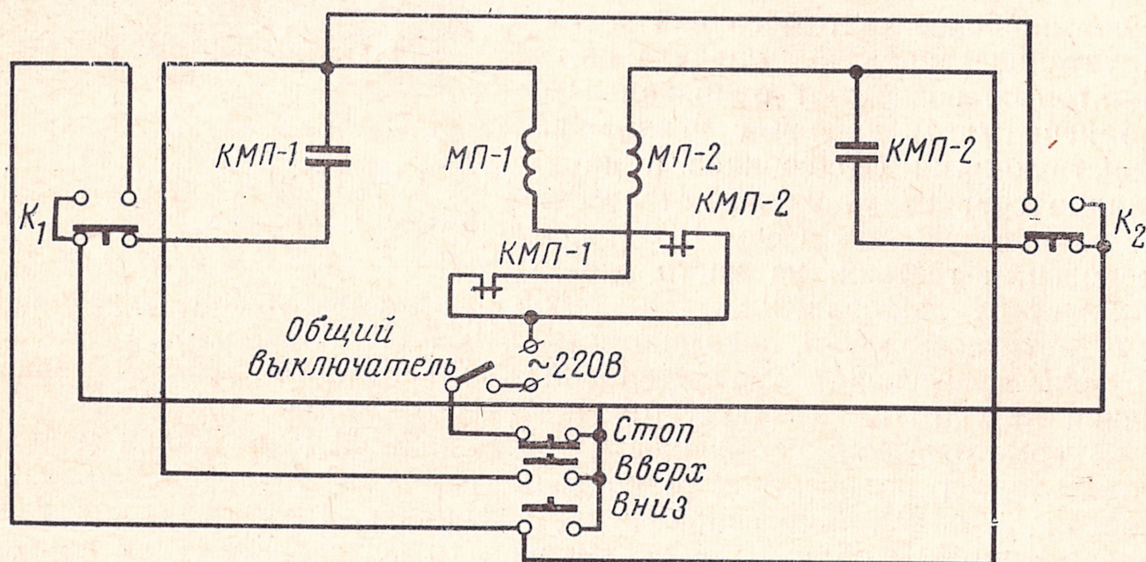


Рис. 1-30. Электрическая схема установки для испытания на геометрическую устойчивость.

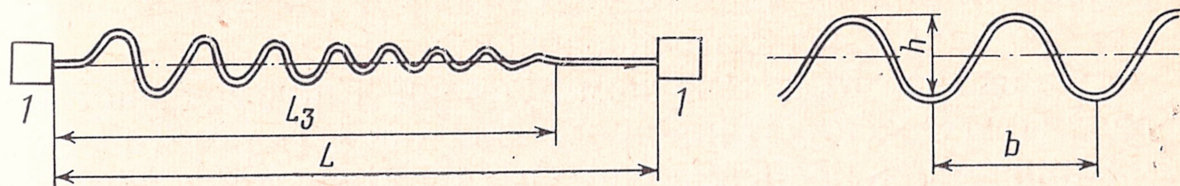


Рис. 1-31. Параметры «спирали».

1 — разъемы; L — общая длина кабеля; $L_з$ — длина закрученной части кабеля; b — шаг спирали; h — высота спирали.

ния кабелей, фиксируются также параметры «спирали», показанные на рис. 1-31.

Результаты исследований геометрической устойчивости кабелей управления описаны в гл. 3 при выборе оптимальных конструкций сердечников и установлении правил монтажа эксплуатации этих кабелей.

1-5. ТРЕБОВАНИЯ К НАДЕЖНОСТИ

В общем случае под надежностью понимают способность изделий сохранять работоспособность в течение заданного времени при заданных условиях эксплуатации.

При задании требований к надежности кабелей управления и контрольных весьма существенным является четкое определение понятия «работоспособность». Дело в том, что работоспособность кабеля определяется его пригодностью для использования в составе эксплуатационного объекта и существенно зависит от назначения кабеля и роли, выполняемой им в общей электрической схеме. Так, например, если кабель используется для электрического соединения точек с равным или близким электрическим потенциалом, его работоспособность практически не зависит от электрического сопротивления токопроводящей жилы и потерей работоспособности является только обрыв жилы; однако если тот же кабель предназначен для передачи малых электрических сигналов от датчика к исполнительному механизму через усилительное устройство, то увеличение электрического сопротивления токопроводящей жилы вызывает уменьшение полезного сигнала, что может привести к отказам в работе аппаратуры. Следовательно, в этом случае увеличение электрического сопротивления токопроводящей жилы сверх заданного значения приводит к потере работоспособности кабеля. Таким образом, под работоспособностью кабеля следует понимать сохранение им своих характеристик на уровне, обеспечивающем нормальное функционирование объекта, для которого пред-

назначен данный кабель. Под отказом следует понимать потерю кабелем работоспособности.

Известно, что с течением времени и под воздействием различных эксплуатационных факторов (климатических, механических и специальных) характеристики всех материалов изменяются, как правило, в сторону ухудшения. Для того чтобы изделие сохраняло работоспособность в течение длительного времени, необходимо при его изготовлении иметь некоторые коэффициенты запаса по сравнению с допустимыми эксплуатационными значениями. Таким образом, одним из основных условий обеспечения надежности являются четкое и объективное задание значений основных параметров-критериев работоспособности кабеля и выбор в процессе разработки оптимальных коэффициентов запаса, обеспечивающих сохранение работоспособности кабеля на протяжении всего срока службы. Надежность кабелей существенно зависит от их назначения и условий применения в составе эксплуатационных объектов, при этом для различных условий один и тот же кабель может иметь различные показатели надежности.

Основными количественными характеристиками надежности кабелей являются: наработка, в течение которой обеспечивается работоспособность кабеля при эксплуатации в рабочих режимах, t; срок сохраняемости — предельно допустимое время хранения, пребывания в нерабочих режимах кабеля в заданных условиях, в течение которого кабель остается пригодным для дальнейшего использования в рабочих режимах, $T_{хр}$; срок службы, в пределах которого реализуются наработка и срок сохраняемости, $T_{сл}$; вероятность безотказной работы в течение заданной наработки, $P(t)$; интенсивность отказов $\lambda(t)$ на время заданной наработки.

Из приведенных определений следует, что

$$T_{сл} = T_{хр} + t. \qquad (1\text{-}10)$$

При этом реализация наработки (суммарной) осуществляется непрерывно или прерывисто с любого момента на протяжении установленного срока службы кабеля (рис. 1-32). В качестве одного из вариантов реализации сроков службы может оказаться случай, когда кабель в рабочих режимах не используется (аварийные, запасные или дежурные системы) и фактически срок службы оказывается равным сроку сохраняемости.

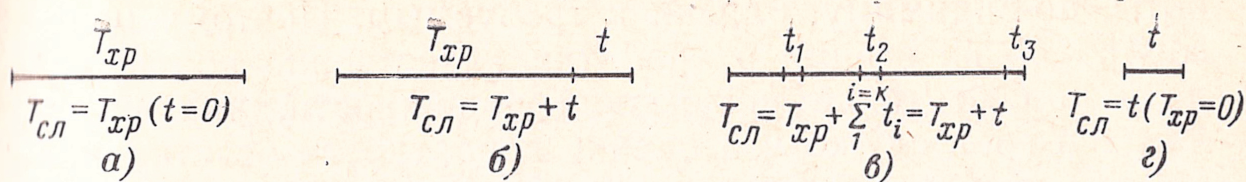


Рис. 1-32. Варианты реализации сроков службы.

а — наработка отсутствует; *б* — наработка реализуется непрерывно в конце срока службы; *в* — наработка реализуется прерывисто на протяжении срока службы; *г* — наработка реализуется непрерывно в начале срока службы.

Современные требования по срокам службы кабелей управления и контрольных соответствуют следующему параметрическому ряду: 5, 8, 10, 12, 15, 20, 25 лет.

При этом наработка задается в виде ряда 500, 1000, 5000, 10 000, 25 000 и 50 000 ч.

В связи с этим априорную оценку таких показателей надежности, как срок службы или наработка, оказывается практически возможным осуществить только с помощью ускоренных методов испытаний, имитирующих длительное пребывание кабеля в рабочих и нерабочих режимах [Л. 1], или путем использования эксплуатационных данных по фактическим наработкам кабелей аналогичных конструкций. Второй путь при всей его простоте, к сожалению, непригоден для кабелей, в которых использованы новые материалы или конструктивные элементы.

Что касается таких показателей надежности, как вероятность безотказной работы и интенсивность отказов, то проблема заключается в следующем. Предъявляемые в настоящее время требования по вероятности безотказной работы лежат в пределах $P(t) = 0{,}9999 \div 0{,}999999$.

В соответствии с принятыми методами испытаний для подтверждения таких показателей с достаточной достоверностью необходимо испытать (при условии отсутствия отказов) от 23 000 до 2 300 000 образцов кабелей, что практически невозможно. При этом появившаяся в последнее время тенденция к увеличению установленных значений наработки вносит дополнительные трудности в проведении этих испытаний. В результате практически оказывается возможным подтвердить на стадии разработки вероятность безотказной работы, равную 0,9—0,99, что никак не устраивает ни разработчиков, ни потребителей кабелей управления и контрольных. Вместе с тем многолетний опыт эксплуатации этих кабелей показал, что они являются изделиями высоко надежными и фактические значения вероятности безотказной ра-

боты, по-видимому, близки к требуемым. Поэтому целесообразно на стадии разработки качественно подтверждать только такие показатели надежности, как наработка и срок службы, а оценку вероятности безотказной работы или интенсивности отказов производить расчетным путем по результатам эксплуатации этих кабелей. Необходимыми исходными данными для этого являются общее количество отрезков кабелей, находящихся в эксплуатации в одинаковых условиях, фактическая наработка этих кабелей и количество отказов за исследуемый промежуток времени. Подобные расчеты можно производить периодически по мере поступления информации с мест эксплуатации. При этом по мере увеличения фактической наработки могут определяться указанные характеристики для разных ее значений.

Одной из основных проблем при оценке надежности технической продукции являются обоснованный выбор параметров-критериев работоспособности.

Применительно к кабелям управления и контрольным основным критерием работоспособности является сохранение электрических параметров (электрического сопротивления токопроводящих жил и изоляции, электрической прочности изоляции) на заданном уровне. Однако особенность конструкций кабелей, у которых цепи контроля и управления надежно защищены монолитной оболочкой и защитными покровами, позволяют несколько по-иному подойти к этому вопросу. Поскольку заделка концов этих кабелей в большинстве случаев герметизируется, то воздействие большинства эксплуатационных факторов приходится именно на оболочку или защитные покровы. Поэтому целостность защитной оболочки является критерием работоспособности кабелей.

Помимо визуального осмотра, позволяющего обнаруживать макротрещины на поверхности, состояние оболочек этих кабелей и степень их старения, косвенно определяющих срок службы, можно оценить по изменению физико-механических характеристик и холодостойкости материала оболочки. Поэтому в большинстве случаев при экспериментальной оценке надежности именно эти характеристики являются основными для определения степени работоспособности кабелей.

Методы ускоренной оценки наработки и срока службы кабельных изделий, в том числе и кабелей управления и контрольных, подробно описаны в [Л. 1].

КОНСТРУИРОВАНИЕ КОНТРОЛЬНЫХ КАБЕЛЕЙ

Большинство оборудования, в котором используются контрольные кабели, является традиционным, насчитывающим многолетнюю историю. Поэтому типовые конструкции существующих кабелей также известны много лет. К настоящему времени разработаны параметрические и размерные ряды, позволяющие не только обеспечить самые разнообразные запросы потребителей при ограниченной номенклатуре контрольных кабелей, но и служить основой для конструирования новых типов.

По мере появления новых требований и возможностей для их реализации появляются новые марки кабелей; ниже рассмотрим общий подход к конструированию контрольных кабелей, позволяющий органически вписывать новые конструкции в существующие унифицированные стандартные ряды.

На основании многолетнего опыта эксплуатации контрольных кабелей выработан ряд требований, наиболее характерных для этой группы изделий, а именно: а) передавать на небольшие и средние расстояния электрическую энергию малой и средней мощности низкого напряжения; б) обеспечивать многоканальную передачу энергии; в) допускать длительное использование в самых разнообразных условиях — в помещениях, в каналах, туннелях, под землей, в воде и т. п.; г) поскольку кабели могут использоваться в жилых и производственных помещениях, в том числе пожароопасных, они не должны распространять горения в случае коротких замыканий или аварийных перегрузок в аппаратуре.

Вместе с тем к контрольным кабелям предъявляются и новые требования, приводящие к созданию новых конструкций. Наиболее характерными из них являются: малые масса и габариты; уменьшенные радиусы изгиба при монтаже; стойкость к воздействию агрессивных сред, повышенных температур и других климатических и механических факторов; высокая надежность на протяжении всего срока службы.

В результате реализации всех этих требований наиболее характерной является следующая конструкция контрольных кабелей: сердечник кабеля скручен из медных или алюминиевых токопроводящих жил, покрытых бумажной пропитанной, резиновой или пластмассовой

изоляцией; поверх сердечника наложена обмотка лентами из бумаги или синтетической пленки, придающая сердечнику механическую устойчивость и облегчающая наложение оболочки из резины и пластмасс; на обмотанный сердечник наложена металлическая, резиновая или пластмассовая оболочка, защищающая изоляцию от влаги и механических повреждений; оболочка защищена от механических повреждений и проникновения влаги защитными покровами.

Исходными данными для конструирования нового (или выбора имеющегося) типа контрольного кабеля являются: рабочее напряжение U, В; количество цепей контроля n; ток нагрузки I, А; предельные значения температуры окружающей среды t_0, °С; условия эксплуатации (преимущественная область прокладки, значения климатических, механических и специальных воздействий); срок службы τ, годы.

2-1. КОНСТРУИРОВАНИЕ ЦЕПЕЙ КОНТРОЛЯ

Конструирование цепей контроля состоит из следующих этапов: выбора материала, сечения и конструкции токопроводящей жилы; выбора материала и конструкции изоляции; выбора толщины изоляции.

В качестве материала токопроводящей жилы контрольных кабелей используются медная мягкая (отожженная) проволока марки ММ по ГОСТ 2112-71 и полутвердая алюминиевая проволока марки АПТ по ГОСТ 6132-63. Медная проволока по сравнению с алюминиевой обладает большей электрической проводимостью (удельное электрическое сопротивление в 1,68 раза меньше, чем у алюминиевой); лучшими механическими характеристиками (предел прочности при растяжении приблизительно в 2 раза выше, чем у алюминиевой); большей способностью к сращиванию (пайка, сварка) и большей эластичностью. Основными достоинствами алюминия являются малая плотность (в 3,3 раза меньше, чем у меди), дешевизна и практическая неограниченность запасов в природе. Исходя из экономических соображений, во многих случаях целесообразно использовать для изготовления токопроводящих жил контрольных кабелей именно алюминиевую проволоку. Легко подсчитать, что алюминиевая токопроводящая жила имеет сечение в 1,68 раза, а диаметр в 1,3 раза больше, чем медная жила с таким же электрическим сопротивлением

(рис. 2-1), однако при этом масса алюминиевой жилы оказывается в 1,96 раза меньше, чем медной (рис. 2-2).

Из сказанного следует, что при выборе материала токопроводящей жилы контрольных кабелей рекомендуется использовать: медную проволоку с противокоррозионным покрытием — для кабелей, температура жилы которых при эксплуатации превышает 200 °C; медную проволоку — для кабелей, температура жилы которых

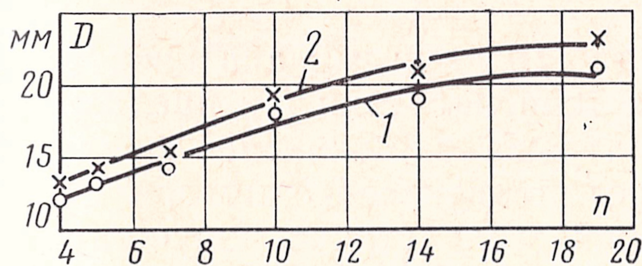


Рис. 2-1. Сравнение наружных размеров однотипных кабелей с медными и алюминиевыми жилами.

1 — кабель марки КРВГ; 2 — кабель марки АКРВГ.

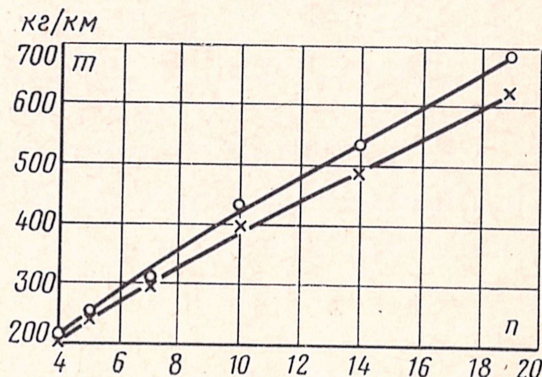


Рис. 2-2. Сравнение масс однотипных кабелей с медными и алюминиевыми жилами.

О — кабель марки КРВГ; × — кабель марки АКРВГ.

при эксплуатации находится в пределах от 50 до 200 °C; в тех случаях, когда наружный диаметр является определяющим параметром кабеля и жестко ограничен, при использовании в качестве материалов изоляции и оболочки дорогостоящих дефицитных материалов — фторопластов, свинца и т. п.; алюминиевую проволоку — в остальных случаях, особенно в случае, если определяющим параметром является масса кабеля.

В кабельной технике различаются четыре основных типа токопроводящих жил — нормальной гибкости (тип I), гибкие (тип II) и особо гибкие (типы III и IV). Основным достоинством двух последних типов является их повышенная стойкость к перегибам при малом радиусе изгиба и связанная с этим возможность использования при гибком монтаже и подвижной эксплуатации.

Жилы нормальной гибкости малых и средних сечений выполняются однопроволочными, что дает им следующие преимущества по сравнению с многопроволочными жилами повышенной гибкости: меньшие габариты, меньшая трудоемкость изготовления, возможность при-

менения для производства изолированной жилы автоматизированных поточных линий.

Поскольку контрольные кабели предназначены только для неподвижной прокладки их токопроводящие жилы должны быть однопроволочными и соответствовать: медные — типу I по ГОСТ 1956-70; алюминиевые — типу I по ГОСТ 12137-66.

Выбор сечения токопроводящих жил контрольных кабелей можно производить, исходя из рекомендаций по предельной экономической плотности тока [Л. 1], а также на основании предварительного ориентировочного теплового расчета.

В последнем случае исходными данными для расчета являются заданные значения тока нагрузки I и предельной положительной температуры окружающей среды $t_{0\text{макс}}$. Если принять, что все электрические потери сосредоточены в токопроводящей жиле (такое допущение правомерно для кабелей, работающих на постоянном токе, а также для кабелей без металлических оболочек и защитных покровов, работающих на переменном токе промышленной частоты), то сечение токопроводящей жилы S можно определить по формуле, мм²:

$$S = \frac{0,1\rho I^2 n s_\text{т} [1 + \alpha (t_\text{д} - 20)]}{t_\text{д} - t_{0\text{макс}}}, \qquad (2\text{-}1)$$

где ρ — удельное электрическое сопротивление токопроводящей жилы при 20 °С, Ом·мм²/м; $t_\text{д}$ — длительно допустимая температура нагрева предварительно выбранного материала изоляции, °С; α — температурный коэффициент сопротивления токопроводящей жилы, °С$^{-1}$; $s_\text{т}$ — тепловое сопротивление кабеля, определяемое по методике [Л. 1], °С·см/Вт.

Для кабелей с металлическими оболочками и броней этот расчет значительно усложняется из-за необходимости учета электрических потерь в оболочке и броне и потерь, определяемых взаимным влиянием кабелей; однако для предварительного выбора сечения токопроводящих жил этих кабелей можно также пользоваться формулой (2-1). Значение сечения должно быть уточнено после окончательного выбора варианта конструкции кабеля по результатам проверочного теплового расчета [Л. 1]. Полученное расчетным путем сечение округляется до ближайшего большего значения из стандартизованного ряда.

Диаметр однопроволочной жилы d можно определить по формуле, мм:

$$d=\sqrt{1,24S_{н}}, \qquad (2\text{-}2)$$

где $S_{н}$ — номинальное (стандартизованное) сечение.

В табл. 2-1 приведен размерный ряд сечений и диаметров однопроволочных токопроводящих жил контрольных кабелей.

Таблица 2-1

Материал токопроводящей жилы	Номинальный диаметр жилы, мм, при номинальном сечении жилы, мм²						
	0,75	1,0	1,5	2,5	4	6	10
Медь	0,97	1,13	1,37	1,76	2,24	2,73	—
Алюминий	—	—	—	1,76	2,24	2,73	3,52

Выбор материала изоляции контрольных кабелей определяется в первую очередь классом нагревостойкости и холодостойкостью материала. Большинство контрольных кабелей эксплуатируется при температуре окружающей среды от минус 50 до плюс 50 °С, поэтому в качестве материала изоляции можно использовать изоляционные материалы нормальной нагревостойкости (до 90 °С), такие как резина, полиэтилен (высокой и низкой плотности, самозатухающий, вулканизованный), поливинилхлоридный пластикат. Бумажная пропитанная изоляция в настоящее время не используется из-за высокой трудоемкости изготовления, хорошей горючести и сравнительно низких механических свойств. Для кабелей, эксплуатирующихся при повышенных температурах (выше 60—70 °С), а также при необходимости пропускания по кабелю больших токов при ограниченном сечении токопроводящих жил следует использовать материалы повышенной нагревостойкости — политетрафторэтилен и его сополимеры (фторопласт-4МБ и фторопласт-4ОШ).

Вторым основным фактором, определяющим выбор изоляционного материала, является стойкость к продавливанию. При наличии жесткой однопроволочной токопроводящей жилы изоляция кабелей во время скрутки испытывает значительные продавливающие нагрузки за счет механического взаимодействия соседних жил; при этом значения нагрузок увеличиваются с возрастанием числа скручиваемых изолированных жил. В случае не-

достаточной жесткости изоляционного материала в местах соприкосновения соседних жил изоляционный слой проминается, его толщина снижается и электрические характеристики ухудшаются. Это особенно опасно в тех случаях, когда из-за короткого замыкания или аварийной перегрузки повышается температура токопроводящей жилы и механическая прочность изоляционных материалов уменьшается. По возрастанию стойкости к продавливанию при длительно допустимых рабочих температурах изоляционные материалы можно расположить в следующей последовательности: резиновые смеси, поливинилхлоридный пластикат, полиэтилен низкой плотности, сшитый полиэтилен, фторопласт-4ОШ, фторопласт-4.

При выборе электроизоляционных материалов для контрольных кабелей следует обращать внимание на их способность не распространять горения.

Электрические характеристики изоляционных материалов, особенно высокочастотные (ε, $\mathrm{tg}\,\delta$), не являются решающими для изоляции контрольных кабелей, так как они используются при низком рабочем напряжении и малой частоте переменного тока.

Вместе с тем пробивное напряжение и электрическое сопротивление изоляции (особенно их стабильность) должны приниматься во внимание при выборе электроизоляционных материалов. Дело в том, что при использовании материалов с более высокими электрическими характеристиками и, главное, более однородных можно обеспечить, с одной стороны, снижение толщины изоляции и соответственно снижение габаритов и массы кабеля, а с другой — повышение надежности кабеля при эксплуатации. С этой точки зрения все преимущества находятся на стороне однокомпонентных материалов — полиэтилена, политетрафторэтилена и его сополимеров. Резиновые смеси и поливинилхлоридный пластикат в силу многокомпонентного состава имеют неоднородную структуру и как следствие — недостаточную однородность электрических характеристик.

Основные характеристики материалов, рекомендуемых для изоляции токопроводящих жил контрольных кабелей, приведены в табл. 2-2.

Кроме перечисленных факторов при выборе изоляционных материалов следует учитывать и экономический фактор. Так, например, стоимость фторопластов значи-

Таблица 2-2

Характеристика	Изоляционный материал							
	Резиновая смесь типа РТИ-1	Поливинилхлоридный пластикат	Полиэтилен низкой плотности	Полиэтилен самозатухающий	Полиэтилен вулканизованный	Фторопласт-4	Фторопласт-4Ш	Фторопласт-4МБ
Электрическая прочность, кВ/мм, не менее	20	25	45	40	50	40	30	30
Удельное объемное электрическое сопротивление, Ом·см, не менее	$1\cdot10^{13}$	$1\cdot10^{13}$	$1\cdot10^{16}$	$1\cdot10^{15}$	$1\cdot10^{15}$	$1\cdot10^{17}$	$1\cdot10^{17}$	$1\cdot10^{17}$
Предел прочности при разрыве, МПа, не менее	4,00	18,00	10,00	8,00	15,00	14,00	40,00	16,00
Относительное удлинение при разрыве, %, не менее	300	200	400	400	450	250	250	250
Диапазон рабочих температур, °С	$-50\div+65$	$-40\div+70$	$-70\div+85$	$-60\div+75$	$-70\div+90$	$-70\div+250$	$-60\div+180$	$-70\div+200$
Температура размягчения, °С, не менее	—	175	108	104	160	327	265	280
Горючесть	Горит	Не горит	Горит	Не горит	Горит	Не горит	Не горит	Не горит

тельно выше стоимости изоляционных материалов нормальной нагревостойкости, поэтому их нецелесообразно использовать для кабелей общего применения, не имеющих жестких ограничений по габаритам.

Таким образом, в качестве материала изоляции токопроводящих жил рекомендуется использовать:

а) резиновую изоляцию для кабелей общего применения, эксплуатируемых в естественных условиях и не имеющих ограничений по массе и габаритам. Но применение резиновой изоляции для контрольных кабелей следует ограничить, так как из-за неоднородности характеристик и малой стойкости к продавливанию резиновая изоляция должна иметь достаточно большую толщину, а ее основное достоинство — гибкость и эластичность — в контрольных кабелях не используется из-за жесткости однопроволочных токопроводящих жил;

б) поливинилхлоридный пластикат для кабелей, не имеющих ограничений по массе и габаритам и эксплуатируемых в естественных условиях, а также в пожароопасных местах и в местах с повышенной концентрацией химически агрессивных веществ. Основными недостатками поливинилхлоридного пластиката являются недостаточные однородность и стойкость к продавливанию (хотя и в меньшей степени, чем для резин); однако благодаря негорючести и высокой технологичности этот материал находит и будет находить широкое применение в контрольных кабелях;

в) полиэтилен низкой плотности для кабелей, габариты и масса которых ограничены, а эксплуатация происходит в естественных условиях. Основными недостатками полиэтилена являются его размягчение при 90—100 °С и горючесть; в связи с этим полиэтилен низкой плотности не следует применять для кабелей, в которых при эксплуатации могут протекать токи, даже кратковременно повышенные по сравнению с номинальным током нагрузки — это может привести к продавливанию изоляции, резкому ухудшению ее свойств и выходу кабеля из строя;

г) самозатухающий полиэтилен, обладающий теми же свойствами, что и полиэтилен низкой плотности, для тех же целей, что и полиэтилен низкой плотности, при этом благодаря своей способности не распространять горения может использоваться для кабелей, эксплуатируемых в пожароопасных помещениях;

д) вулканизованный полиэтилен, не размягчающийся при температурах до 160 °С, для кабелей, имеющих ограничения по габаритам и массе, при эксплуатации которых могут возникать кратковременные перегревы. В серийных конструкциях контрольных кабелей вулканизованный полиэтилен пока не используется;

е) политетрафторэтилен и его сополимеры для кабелей, используемых при повышенных температурах (до 200 °С); для особоответственных кабелей повышенной надежности; для кабелей с жесткими ограничениями по габаритам и массе при повышенных плотностях тока; для кабелей, эксплуатируемых в пожароопасных помещениях и в среде с повышенной химической агрессивностью.

Выбор толщины изоляции токопроводящих жил контрольных кабелей так же, как и для других типов низковольтных проводов и кабелей, производится из условий достаточной механической прочности и из технологических соображений с учетом сечения жилы. Теоретически установлено и экспериментально подтверждено, что для вышеуказанных электроизоляционных материалов толщина изоляции, выбранная из этих соображений, во всех случаях обеспечивает достаточную электрическую прочность.

При прочих равных условиях, чем выше механическая прочность (стойкость к продавливанию) изоляционного материала, тем меньше толщина изоляции, достаточная для обеспечения длительной работоспособности кабеля.

Под технологичностью материала понимается степень однородности изоляции, достигаемая при его нормальной технологической переработке. Исследования показали,

Таблица 2-3

Сечение токопроводящей жилы, мм²	Номинальная толщина изоляции, мм			
	резиновой	поливинилхлоридной	полиэтиленовой	фторопластовой
0,75	1,0	0,6	0,6	0,3
1,0—1,5	1,0	0,7	0,6	0,3
2,5	1,0	0,7	0,6	0,5
4,0	1,0	0,8	0,6	0,5
6,0	1,2	0,8	0,6	0,5
10,0	1,2	1,0	0,8	0,8

что для каждого изоляционного материала существует оптимальная с точки зрения однородности толщина изоляции, которая зависит от однородности исходного сырья и степени освоенности технологического процесса изолирования. Более подробно об оценке однородности изоляции [Л. 2].

Для токопроводящих жил большего сечения толщина изоляции выбирается большей из-за больших механических нагрузок при скрутке жил в кабель и монтажных изгибах кабеля, а также из-за большей вероятности неоднородности изоляции.

Ряд оптимальных значений толщин изоляции токопроводящих жил контрольных кабелей приведен в табл. 2-3.

2-2. КОНСТРУИРОВАНИЕ СЕРДЕЧНИКОВ

Сердечник контрольного кабеля состоит из изолированных токопроводящих жил, скрученных и обмотанных электроизоляционной лентой, и общего экрана (в случае необходимости).

Контрольные кабели имеют однородную конструкцию (все жилы одинакового сечения и диаметра), поэтому изолированные жилы скручиваются концентрическими повивами по системе нормальной правильной скрутки. Количество изолированных жил может находиться в пределах 4—61 и выше. Параметрический ряд числа изолированных жил контрольных кабелей приведен в табл. 2-4.

Таблица 2-4

Сечение токопроводящих жил, мм²	Число жил в кабеле
0,75—1,5	4, 5, 7, 10, 14, 19, 24, 27, 37, 52, 61
2,5	4, 5, 7, 10, 14, 19, 24, 27, 37
4—10	4, 7, 10

Из общей теории скрутки известно, что конструкции с двумя, четырьмя и пятью жилами в центре недостаточно устойчивы, поэтому введение в стандартизованный параметрический ряд 10, 14 и 52-жильных конструкций можно объяснить только традиционностью этих кабелей и аппаратуры, для которой они предназначены. Для вновь разрабатываемых конструкций целесообразно ис-

пользовать преимущественно число жил, соответствующее скрутке с одной или тремя жилами в центре.

Конструкция сердечника выбирается из соображений, что с уменьшением шага скрутки возрастают гибкость и стойкость сердечника к перегибам и вибрациям. Однако при этом повышаются масса сердечников и трудоемкость их изготовления; при скрутке сердечника повивами одного направления сердечник оказывается более гибким, но менее устойчивым, склонным к раскручиванию при растяжении, чем сердечник, скрученный чередующимися направлениями.

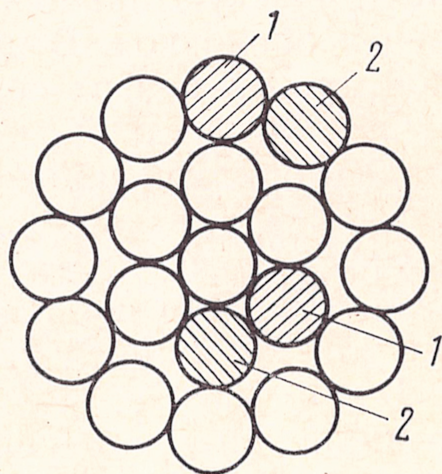


Рис. 2-3. Расположение счетных жил в конструкции сердечника.

1 — изоляция красного цвета; *2* — изоляция синего цвета.

Таким образом, рекомендуется: а) сердечник скручивать повивами с чередующимися направлениями скрутки; б) коэффициент скрутки внутренних повивов следует выбирать большим, чем наружных повивов; увеличение коэффициента скрутки внутренних повивов обеспечит снижение габаритов, массы и трудоемкости изготовления сердечника, а уменьшение коэффициента скрутки внешних повивов обеспечит достаточную устойчивость и гибкость сердечника; рекомендуется выбирать шаг скрутки внутренних повивов, равный 20—25 диаметрам повива, а наружных 16—20 диаметрам повива; в) для облегчения монтажа следует вводить две рядом уложенные жилы с различным цветом изоляции, являющиеся счетными (рис. 2-3). Согласно ГОСТ 1508-71 одна из них (направляющая) должна быть красного или розового цвета, а другая (счетная) — синего или голубого.

Поверх скрученных изолированных жил в контрольных кабелях накладывается обмотка лентами бумаги или полимерной пленки. Основным назначением обмотки являются обеспечение подвижности жил кабеля и предотвращение прилипания резиновой или пластмассовой оболочки к изолированным жилам; кроме того, обмотка способствует механической устойчивости сердечника, что облегчает наложение оболочки.

В кабелях с полиэтиленовой изоляцией в оболочке из поливинилхлоридного пластиката обмотка является за-

щитным барьером, препятствующим миграции пластификатора из оболочки в материал изоляции. В конструкциях кабелей без оболочки с металлической броней в поливинилхлоридном шланге обмотка дополнительно защищает изолированные жилы от повреждения при наложении брони. В кабелях с металлической оболочкой обмотка играет роль поясной изоляции, увеличивая электрическую прочность между жилами наружного повива и оболочкой. В кабелях без оболочки с металлической броней поверх сердечника накладываются две ленты из полиамидной, полиэтилентерефталатной или поливинилхлоридной пленки и две ленты крепированной бумаги. В остальных кабелях на скрученные жилы накладывается одна лента из полиамидной, полиэтилентерефталатной или поливинилхлоридной пленки, из кабельной или телефонной бумаги.

В том случае, если предъявляется требование помехозащищенности цепей контроля от влияния внешнего электромагнитного поля, в конструкцию кабеля вводится общий экран, накладываемый поверх обмотки лентами. Экран контрольных кабелей выполняется в виде обмотки лентой из медной или алюминиевой фольги. Медная фольга или лента номинальной толщиной 0,06 мм или алюминиевая фольга толщиной 0,15 мм накладываются с положительным перекрытием не менее 20%; под экраном из алюминиевой фольги прокладывают продольно медную проволоку диаметром 0,4—0,6 мм, обеспечивающую непрерывность экрана по длине кабеля. Использование в качестве общего экрана контрольных кабелей металлической оплетки нецелесообразно, так как ее достоинство—гибкость—при неподвижной эксплуатации не используется, а трудоемкость изготовления значительно превышает трудоемкость изготовления обмотки.

2-3. КОНСТРУИРОВАНИЕ ОБОЛОЧЕК

Оболочки контрольных кабелей предназначены для защиты изоляции токопроводящих жил от воздействия влаги, солнечной радиации, химически агрессивных сред, механических воздействий. Основными требованиями, предъявляемыми к материалу оболочки, являются: малая влагопроницаемость, стойкость к воздействию агрессивных сред, светостойкость, тепло- и холодостойкость, механическая прочность, достаточная гибкость, малая плотность.

До недавнего прошлого основными материалами, используемыми для оболочек контрольных кабелей, являлись свинец и алюминий. Оба материала негорючи и практически влагонепроницаемы, поэтому незаменимы для кабелей с невлагостойкой (волокнистой и бумажной) изоляцией; кроме того, обладая достаточной электрической проводимостью, они могут выполнять роль экрана. Однако их основные недостатки — большая масса, высокая стоимость, недостаточная вибростойкость (особенно у свинца), недостаточная гибкость и коррозионная стойкость (особенно у алюминия) — заставляют конструкторов кабельных изделий все чаще отказываться от этих материалов в пользу резиновых смесей и пластмасс.

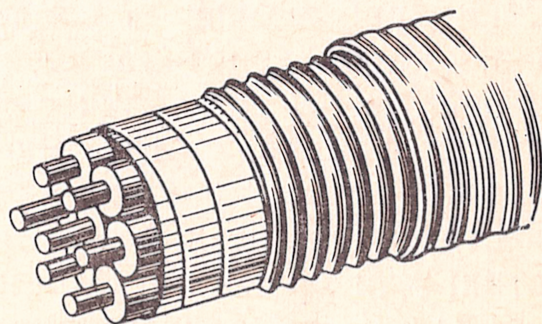


Рис. 2-4. Внешний вид кабеля в сварной гофрированной оболочке.

Только некоторые контрольные кабели с ризновой изоляцией, предназначенные для особо тяжелых условий эксплуатации (в том числе в воде), имеют свинцовую оболочку. Оболочка изготовляется из сурьмянистого или сурьмянисто-теллурового свинца марок ССуМ и ССуМТ по ГОСТ 1292-67; присадка сурьмы и теллура обеспечивает повышенную вибростойкость и механическую прочность оболочки. На оболочке не допускаются риски, царапины и вмятины, если после их зачистки толщина оболочки окажется меньше минимально допустимого значения.

Полноценной заменой для свинцовых оболочек контрольных кабелей являются сварные стальные гофрированные оболочки (рис. 2-4). Они изготовляются из ленты малой толщины, сохраняя основное достоинство свинцовых оболочек — высокую степень защиты изоляции от механических повреждений и действия влаги. Гофрированные оболочки легки, достаточно гибки, а при использовании противокоррозионного покрытия или нержавеющих сталей достаточно влагостойки.

Благодаря высокой механической прочности эти оболочки частично выполняют роль брони и могут использоваться в кабелях с облегченными защитными покровами — шлангами из полимерных материалов.

Резиновые смеси, используемые для изготовления оболочек контрольных кабелей, выполняются на основе полихлоропренового каучука — наирита (смеси типов РШН-1 и РШН-2 по ГОСТ 2068-70). Резина этих типов не распространяет горения — после удаления из пламени горение оболочки прекращается; резина масло-бензостойка—после 24 ч пребывания в бензине набухание резины не превышает 22%, после 24 ч пребывания в машинном масле набухание не превышает 4%, а после 24 ч пребывания в соляровом масле — 9%. Механические характеристики резины хуже, влагопроницаемость выше, чем у металлических оболочек; резиновые смеси, как и всякий многокомпонентный материал, обладают недостаточной однородностью структуры, что может привести к значительному разбросу основных характеристик; для снижения влияния этого фактора на качество оболочки приходится использовать оболочки повышенной толщины; кроме того, резина, как и все полимерные материалы, подвержена старению, поэтому кабели с резиновой оболочкой имеют ограниченный срок службы.

Поливинилхлоридный пластикат является наиболее распространенным материалом для изготовления оболочек контрольных кабелей. Оболочки из него негорючи, масло- и бензостойки, стойки к большинству химически агрессивных веществ и влаге. Поливинилхлоридный пластикат обладает достаточно высокими механическими свойствами, обеспечивающими надежную защиту изоляции токопроводящих жил от повреждений при наложении брони. К числу основных недостатков поливинилхлоридного пластиката, помимо сравнительно высокой влагопроницаемости и недостаточной однородности структуры, следует отнести свойство выделения пластификатора в процессе эксплуатации. При этом механические свойства пластиката ухудшаются, а миграция пластификатора в изоляцию токопроводящих жил значительно ухудшает ее электроизоляционные свойства; особенно чувствительна к действию пластификаторов полиэтиленовая изоляция. В связи с этим кабели в поливинилхлоридной оболочке имеют ограниченный срок службы, а для кабелей с полиэтиленовой изоляцией обязательна защита её от проникновения пластификатора. В последнее время все более широкое распространение приобретают рецептуры поливинилхлоридного пластиката с немигрирующими пластификаторами, позволяющие увеличить

срок службы и улучшить характеристики контрольных кабелей.

Полиэтилен, обладая рядом достоинств по сравнению с поливинилхлоридным пластикатом (большие влагостойкость и холодостойкость и меньшая плотность), пока находит меньшее применение в качестве материала оболочек контрольных кабелей из-за горючести и несколько худших механических свойств. Однако с появлением самозатухающего и вулканизованного полиэтилена, по-видимому, роль его в контрольных кабелях возрастет.

Для изготовления оболочек контрольных кабелей повышеной нагревостойкости можно использовать теплостойкие резины на основе кремнийорганического каучука марки СКТВ. Эти резины обладают высокой нагревостойкостью, холодостойкостью, стойкостью к воздействию кислорода и озона. При сгорании кремнийорганических резин образуется непроводящий порошок двуокиси кремния, что позволяет использовать кабели с такой оболочкой в условиях кратковременного пожара. К числу основных недостатков теплостойких резин следует отнести сравнительно низкие механические характеристики (особенно сопротивление раздиру), а также малую стойкость ко многим видам агрессивных сред.

Для изготовления оболочек нагревостойких контрольных кабелей можно использовать также резину на основе фторсодержащего каучука марки СКФ-26. Эта резина негорюча, обладает высокой нагревостойкостью, хорошими механическими характеристиками, стойкостью к воздействию влаги и химически агрессивных сред.

Весьма перспективным материалом для изготовления оболочек нагревостойких контрольных кабелей может оказаться фторопласт-4МБ, обладающий достаточно высокими механическими свойствами, тепло-, холодо-, влагостойкостью, негорючестью, стойкостью к воздействию большинства видов агрессивных сред и достаточной технологичностью.

Основные свойства перечисленных выше материалов приведены в табл. 2-5.

В итоге можно дать следующие общие рекомендации по выбору материалов и конструкции защитных оболочек контрольных кабелей:

а) свинцовую оболочку следует применять только для кабелей, работающих в тяжелых условиях (например,

Характеристика	Мате	
	Свинец	Шланговые резины нормальной нагревостойкости
Предел прочности при разрыве, МПа, не менее	10,00	5,50
Относительное удлинение, %, не менее	—	200
Диапазон рабочих температур, °С	—	—50÷+65
Горючесть	—	Не горит
Стойкость к агрессивным средам	Удовлетворительная	Удовлетворительная

под водой), для кабелей с невлагостойкой изоляцией, особенно в тех случаях, когда отсутствуют ограничения по массе, требуется высокая долговечность и допускаются монтажные изгибы по достаточно большому радиусу;

б) стальную гофрированную оболочку следует применять для кабелей, работающих в тяжелых условиях, имеющих повышенную гибкость и ограничения по массе, кроме того, она может оказаться перспективной для кабелей повышенной нагревостойкости;

в) оболочку из резиновых смесей и пластмасс нормальной нагревостойкости можно применять для большинства кабелей с резиновой и пластмассовой изоляцией, работающих в естественных условиях, не имеющих жестких ограничений по габаритам и массе и не подвергающихся при эксплуатации значительным механическим воздействиям; при отсутствии требования повышенной гибкости предпочтение следует отдавать оболочке из поливинилхлоридного пластиката;

г) оболочку из резиновых смесей и пластмасс повышенной нагревостойкости следует применять для кабелей повышенной нагревостойкости, а также для кабелей, которые из-за жестких ограничений по габаритам и массе могут эксплуатироваться при повышенных плотностях тока и больших перегревах жилы.

При выборе толщины оболочки решающими оказываются соображения достаточной механической прочности и технологичности (§ 2-1). В общем случае для

риал			
Поливинилхлоридный пластикат шланговый	Полиэтилен	Кремнийорганическая резина	Фторопласт-4МБ
12,00	12,00	4,00	17,50
300	600	200	300
—40÷+70	—60÷+85	—70÷+200	—70÷+200
Не горит	Горит	Горит	Не горит
Высокая	Высокая	Малая	Высокая

определения толщины негофрированных оболочек контрольных кабелей пользуются формулой

$$\delta_{об}=\delta_{техн}+k_0D, \qquad (2\text{-}3)$$

где $\delta_{техн}$ — минимальная толщина оболочки по технологическим соображениям, мм; k_0 — опытный коэффициент, зависящий от условий прокладки и назначения кабеля; D — диаметр кабеля под оболочкой, мм.

Для свинцовых оболочек $\delta_{техн}=0{,}9$ мм, так как при меньшей толщине возможно образование отверстий в «бамбуковых кольцах», возникающих при периодических остановках гидравлических прессов, на которых накладываются эти оболочки.

Для оболочек из резины значение $\delta_{техн}=1{,}2$ мм устанавливается из условия обеспечения максимальной однородности характеристик (§ 2-1).

Для оболочек из поливинилхлоридного пластиката, имеющего лучшие механические характеристики и большую однородность, чем резина, значение $\delta_{техн}=1{,}0$ мм.

Значение коэффициента k_0 выбирается, исходя из необходимости обеспечения определенного запаса механической прочности оболочки [Л. 3] и устанавливается равным $k_0=0{,}025\div0{,}04$ — для свинца (первое значение для легких условий прокладки, второе — для тяжелых), $k_0=0{,}03\div0{,}05$ — для поливинилхлоридного пластиката; $k_0=0{,}04\div0{,}06$ — для резины.

Ряды значений толщины оболочек серийных контрольных кабелей приведены в табл. 2-6.

Таблица 2-6

Диаметр кабеля под оболочкой, мм	Номинальная толщина оболочки, мм			
	Свинец		Резина	Поливинилхлорид
	для кабелей, работающих под водой	для остальных кабелей		
До 6	1,05	0,95	1,5	1,2
6—10	1,05	0,95	1,7	1,5
10—15	1,05	0,95	2,0	1,5
15—20	1,05	0,95	2,2	1,7
20—23	1,15	1,05	2,2	1,7
23—25	1,25	1,15	2,2	1,7
25—26	1,25	1,15	2,5	1,9
26—30	1,40	1,25	2,5	1,9
30—33	1,40	1,25	3,0	2,1
33—36	1,40	1,40	3,0	2,1
36—40	1,50	1,50	3,0	2,1
Свыше 40	1,60	1,60	4,0	2,3

Толщина ленты для изготовления стальной гофрированной оболочки серийных кабелей принимается равной 0,2 мм, глубина гофра в зависимости от диаметра под оболочкой устанавливается в соответствии с табл. 2-7.

Таблица 2-7

Диаметр кабеля под оболочкой, мм	До 8,5	8,5—10	10—12,5	12,5—14	14—17	17—19	19—22	Свыше 22
Глубина гофра, мм	0,2—0,9	0,9—1,0	1,0—1,2	1,2—1,4	1,4—1,6	1,6—1,8	1,8—2,0	2,0—2,3

2-4. КОНСТРУИРОВАНИЕ ЗАЩИТНЫХ ПОКРОВОВ

Защитные покровы контрольных кабелей предназначены для предохранения оболочки от механических повреждений, воздействия влаги, агрессивных сред, открытого пламени и прочих факторов. В связи с этим основными требованиями, предъявляемыми к защитным покровам, являются: высокая механическая прочность, монолитность (герметичность), стойкость к воздействию климатических и специальных эксплуатационных факторов.

Типовые конструкции защитного покрова, рекомендованные ГОСТ 7006-73, содержат внутренний покров (подушку), защищающий оболочку от механических повре-

ждений при наложении брони и монтажных изгибах; упрочняющий покров (броню), воспринимающий механические воздействия при монтаже и эксплуатации кабеля, и наружный покров (противокоррозионный), обеспечивающий влагонепроницаемость и защиту от воздействия химических агрессивных сред. Конструкция защитных покровов конкретных типов кабеля зависит от условий эксплуатации и конструкции оболочки кабеля (рис. 2-5).

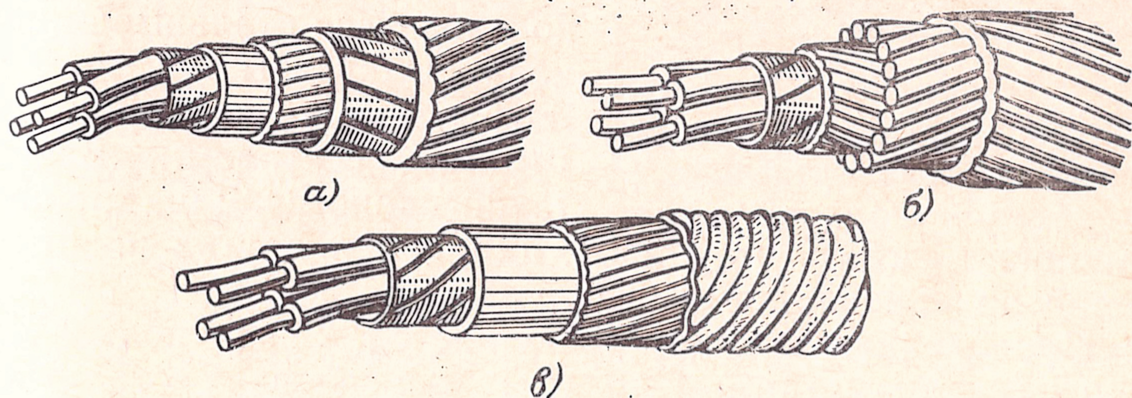


Рис. 2-5. Внешний вид кабелей с различными видами защитных покровов.

а — ленточная броня; *б* — проволочная броня; *в* — гибкая ленточная броня.

Подушка защитного покрова контрольных кабелей выполняется, как правило, в виде сочетания последовательно наложенных концентрических слоев: битума или битумного состава; ленты из крепированной битуминизированной бумаги или пропитанной кабельной бумаги; битума или битумного состава; пропитанной кабельной пряжи, битума или битумного состава.

Для кабелей в резиновой или пластмассовой оболочке подушка выполняется обычно без первых двух слоев битума или битумного состава в связи с достаточной влагостойкостью этих оболочек. Для кабелей с ленточной броней, в которых вероятность повреждения оболочки при наложении брони меньше, вместо дорогой кабельной пряжи могут использоваться ленты из крепированной битуминизированной или пропитанной кабельной бумаги. Битумы и составы, используемые для изготовления подушек, не должны размягчаться при температурах до плюс 45 °С или вытекать из защитных покровов при нагреве кабеля в процессе эксплуатации.

Броня контрольных кабелей может изготовляться ленточной, гибкой ленточной или проволочной.

Ленточная броня представляет собой два повива стальных лент шириной 20—60 мм и толщиной 0,3—0,8 мм, накладываемых методом спиральной обмотки с зазором, равным 1/3 ширины ленты. Верхняя лента должна перекрывать зазоры между витками нижней как у кабелей в выпрямленном, так и в изогнутом состоянии. В случае отсутствия наружного покрова должны использоваться стальные оцинкованные ленты или ленты, покрытые с двух сторон битумным составом. Броня такой конструкции хорошо защищает кабель от ударов, царапин и других повреждений при прокладке и эксплуатации.

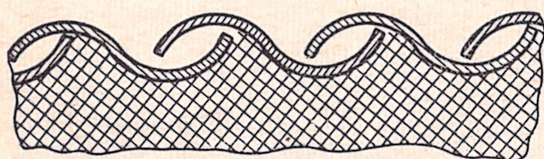


Рис. 2-6. Конструкция гибкой ленточной брони.

Проволочная броня выполняется в виде повива из круглых (диаметром 4—6 мм) или плоских стальных оцинкованных проволок. Поверх плоских проволок в кабелях без наружного покрова накладывается не менее двух круглых стальных оцинкованных проволок диаметром 1,4—1,8 мм с шагом, не превышающим шестикратного диаметра кабеля. Число проволок для брони можно рассчитать по формулам:

для круглых

$$n = \pi(D+d)/(1{,}022d); \tag{2-4}$$

для плоских

$$n = \pi(D+\delta)/(1{,}034b), \tag{2-5}$$

где D — диаметр кабеля под броней, мм; d — диаметр круглой проволоки, мм; δ—толщина плоской проволоки, мм; b — ширина плоской проволоки, мм.

Эти формулы справедливы для кратности шага бронирования по отношению к диаметру кабеля под броней, равной 12 для повива из плоских проволок и 15 для повива из круглых проволок.

Проволочная броня не только предохраняет оболочку от механических повреждений, но и может принять на себя значительные растягивающие усилия при эксплуатации кабелей.

Гибкая ленточная броня представляет собой профилированную (S-образную) стальную оцинкованную ленту

толщиной 0,5 мм, шириной 10 мм, накладываемую на кабель с перекрытием (рис. 2-6). Этот тип брони обеспечивает достаточную механическую защиту резиновых и пластмассовых оболочек и может использоваться без наружного покрова.

Для контрольных кабелей со стальной гофрированной оболочкой броневой покров необязателен, так как сама оболочка является достаточной защитой от механических повреждений изоляции кабеля.

Наружный покров контрольных кабелей бывает двух типов: битумно-волокнистый и поливинилхлоридный.

Битумно-волокнистый наружный покров представляет собой сочетание чередующихся концентрических слоев битума или битумного состава, пропитанной кабельной или стеклянной пряжи или пряжи из штапельного волокна, битума или битумного состава и мелового слоя, предотвращающего слипание витков кабеля на барабане. Битум, используемый для наружного покрова, должен быть не только теплостоек и не размягчаться при температуре до + (45—50) °С, но и холодостоек — не растрескиваться и не осыпаться от ударов при температуре до минус 40 °С.

Поливинилхлоридный наружный покров выполняется в виде шланга и используется для кабелей со стальной гофрированной оболочкой, а также для кабелей без оболочек с броней, накладываемой на обмотанный сердечник. Поливинилхлоридный шланг обеспечивает достаточную защиту брони или металлической оболочки от влияния климатических и специальных воздействий.

При выборе конструкции защитного покрова пользуются следующими общими соображениями: для прокладки в земле следует использовать кабели с броней и наружным покровом; для прокладки в помещениях, каналах, туннелях можно использовать кабели без защитного покрова или в броне без наружного покрова; для прокладки под водой следует использовать кабели со свинцовой оболочкой, броней из круглых стальных оцинкованных проволок и наружным покровом волокнисто-битумного типа; для прокладки в пожароопасных местах следует использовать кабели с наружным покровом из поливинилхлоридного пластиката или без наружного покрова; для прокладки в условиях агрессивной среды и местах, подверженных воздействию блуждаю-

щих токов, следует использовать кабели с наружным покровом в виде поливинилхлоридного шланга; кроме того, для прокладки в условиях агрессивной среды можно использовать кабели без защитного покрова в поливинилхлоридной оболочке; при значительных растягивающих нагрузках следует использовать кабели с проволочной броней; при незначительных растягивающих нагрузках следует использовать кабели с ленточной или гибкой ленточной броней; при отсутствии механических воздействий можно использовать кабели без брони.

Таблица 2-8

Диаметр кабеля по оболочке, мм	Номинальная толщина подушки под броню, мм: нормальной, при броне из стальных лент	нормальной, при броне из стальных оцинкованных проволок	усиленной, при броне из стальных лент	усиленной, при броне из стальных оцинкованных проволок	Номинальная толщина брони, мм: из стальных лент	из стальных оцинкованных проволок: плоских	круглых	Номинальная толщина наружного покрова, мм
До 13	1,5	2,0	2,0	2,5	2×0,3	—	—	2
13—37					2×0,5	1,5	4	2
37—50					2×0,5	1,7	4—6	2
Свыше 50					2×0,8	1,7	6	2

Номинальная толщина элементов защитных покровов, принятая для серийных контрольных кабелей, приведена в табл. 2-8.

Глава третья

КОНСТРУИРОВАНИЕ КАБЕЛЕЙ УПРАВЛЕНИЯ

К кабелям управления предъявляются повышенные требования, принципиально изменяющие подход к их конструированию по сравнению с конструированием контрольных кабелей. Помимо чисто конструктивных требований (увеличение числа электрических цепей и защита их от внешних и внутренних помех, миниатюризация размеров и создание особо гибких конструкций) к кабе-

лям управления предъявляются также весьма жесткие требования по стойкости к различным эксплуатационным воздействиям, что в свою очередь приводит к существенным различиям в подходе к конструированию элементов кабелей управления и контрольных кабелей. Поэтому рассмотрим особенности конструирования кабелей управления.

3-1. КОНСТРУИРОВАНИЕ ЦЕПЕЙ УПРАВЛЕНИЯ

Под цепью управления в многожильном кабеле понимается одна изолированная жила (экранированная или неэкранированная), состоящая в общем случае из токопроводящей жилы, изоляции и электрического экрана.

А. ВЫБОР МАТЕРИАЛОВ И КОНСТРУКЦИЙ ТОКОПРОВОДЯЩИХ ЖИЛ

В отличие от контрольных кабелей токопроводящие жилы кабелей управления выполняются только из медной проволоки. Это объясняется тем, что, во-первых, медь обладает большей электропроводностью, чем алюминий, что при прочих равных условиях позволяет создавать более миниатюрные конструкции жил, и, во-вторых, поскольку кабели управления изготовляются с токопроводящими жилами сечением 0,05—2,5 мм², то изготовление большинства из них практически возможно только из медной проволоки.

В связи с тем, что к кабелям управления предъявляются требования по стойкости к вибрационным и ударным нагрузкам, токопроводящие жилы этих кабелей имеют многопроволочную конструкцию. Это обстоятельство существенно усложняет весь технологический цикл изготовления кабелей управления по сравнению с циклом изготовления контрольных кабелей, имеющих однопроволочную конструкцию токопроводящих жил. Однако применение многопроволочных жил делает эти кабели значительно устойчивее к возможным в эксплуатации механическим воздействиям. В табл. 3-1 приводятся сравнительные данные по стойкости к вибрациям токопроводящих жил однопроволочной и многопроволочной конструкций. Подробные сведения о методике испытаний и применяемом испытательном оборудовании приведены в [Л. 1].

В связи с внедрением в последние годы кабелей управления с весьма малыми сечениями токопроводящих жил (0,05—0,20 мм²) весьма актуальным стал вопрос об

Таблица 3-1

Сечение токопроводящей жилы, мм²	Конструкция токопроводящей жилы	Время до разрушения жилы в месте пайки при вибрациях, мин	Сечение токопроводящей жилы, мм²	Конструкция токопроводящей жилы	Время до разрушения жилы в месте пайки при вибрациях, мин
0,05	1×0,26	1,42	0,50	1×0,79	0,32
	7×0,10	2 460		7×0,30	230
0,08	1×0,32	1,02	0,75	1×0,97	0,23
	7×0,12	1 530		7×0,37	150
0,12	1×0,40	0,69	1,0	1×1,13	0,19
	7×0,15	1 160		7×0,43	92
0,20	1×0,52	0,48	1,5	1×1,37	0,16
	7×0,20	830		7×0,52	54
0,35	1×0,68	0,39	2,5	1×1,79	0,10
	7×0,26	540		7×0,68	38

упрочнении этих жил с целью обеспечения их целостности при сложном технологическом цикле изготовления кабелей, монтаже их в аппаратуру и эксплуатации. Поскольку аналогичный вопрос значительно ранее поднимался в связи с конструированием монтажных проводов малых сечений, то естественно, что при конструировании указанных кабелей управления были использованы наиболее удачные конструкторские решения, найденные для монтажных проводов. Анализ различных вариантов упрочненных жил малых сечений показал, что наиболее перспективными следует считать конструкции жил, выполненные из проволок на основе малолегированных медных сплавов типа ХОТ [Л. 1]. В табл. 3-2 приведены сравнительные данные по электрическим сопротивлениям и разрывной прочности токопроводящих жил малых сечений, выполненных из медных проволок и проволок на основе сплава ХОТ.

Таблица 3-2

Сечение токопроводящих жил, мм²	Электрическое сопротивление жил, Ом/км		Разрывное усилие, Н	
	упрочненных	неупрочненных	упрочненных	неупрочненных
0,05	620	360	34	12,5
0,08	423	244	54,4	19
0,12	266	155	81,6	33
0,20	147	85	136	50

По способу эксплуатации кабели управления можно разделить на три группы: кабели, предназначеннные для фиксированной прокладки, кабели, подвергающиеся в процессе эксплуатации периодическим свертываниям и развертываниям, и, наконец, особо гибкие кабели, предназначенные для непрерывной подвижной эксплуатации. Поскольку общая гибкость кабелей при выборе эластичных изоляционных и защитных материалов в существенной степени зависит от гибкости токопроводящих жил, целесообразно предусматривать для каждого сечения две конструкции токопроводящей жилы — нормальную для первых двух групп кабелей и особо гибкую для кабелей третьей группы. Общие рекомендации по выбору оптимальных конструкций токопроводящих жил кабелей управления приведены в табл. 3-3.

Таблица 3-3

Сечение токопроводящих жил, *мм*²	Оптимальные конструкции токопроводящих жил	
	кабелей I и II групп	кабелей III группы
0,05	7×0,10	7×0,10
0,08	7×0,12	7×0,12
0,12	7×0,15	19×0,10
0,20	7×0,20	19×0,12
0,35	7×0,26	49×0,10
0,50	7×0,30	49×0,12
0,75	7×0,37	49×0,15
1,0	19×0,26	133×0,10
1,5	19×0,32	133×0,12
2,5	19×0,41	133×0,15

Таким образом, практически конструкции токопроводящих жил кабелей управления аналогичны конструкциям жил монтажных проводов, предназначенных для монтажа радиоэлектронной аппаратуры. Принципиальное различие заключается в следующем. Как известно, токопроводящие жилы монтажных проводов нормальной нагревостойкости изготовляют из медной проволоки, покрытой слоем олова. Основное назначение этого покрытия — облегчение процесса пайки проводов к различным элементам схем. Это связано с тем, что монтажные провода, как правило, используются весьма малыми длинами (от нескольких сантиметров до 1—2 м), поэтому

количество паек, отнесенное к метру провода, достаточно велико и экономически выгоднее покрывать полудой всю жилу, чем облуживать каждый конец провода при пайке.

Для кабелей управления, используемых, как правило, большими длинами (2—500 м и более), количество паек на метр изолированной жилы сравнительно невелико, и экономически целесообразно использовать для токопроводящих жил незащищенную медную проволоку. Вместе с тем нельзя забывать и о том, что полуда, помимо облегчения процесса пайки, защищает медную проволоку от коррозии в процессе длительного хранения и эксплуатации кабелей. Поэтому, учитывая жесткие требования по сохраняемости и долговечности, предъявляемые к кабелям управления, необходимо было проверить насколько снижаются исходные характеристики незащищенной медной проволоки в процессе длительного хранения и эксплуатации. При этом следует учитывать, что кабели управления, как правило, армируются герметичными разъемами, что практически исключает возможность проникновения влаги внутрь кабеля. В табл. 3-4 приведены сравнительные данные по основным характеристикам токопроводящих жил кабелей управления типа КУШГПР 52×0,5 в состоянии поставки и после 5, 8 и 11 лет хранения и эксплуатации.

Таблица 3-4

Характеристика	Значение параметров			
	В исходном состоянии	После хранения и эксплуатации, лет		
		5	8	21
Электрическое сопротивление токопроводящей жилы, Ом/км	35—36	35—36	35—37	35—37
Сопротивление проволоки разрыву, МПа	2,50	2,40	2,40	2,40
Относительное удлинение проволоки при разрыве, %	22	20	20	19,4
Внешний вид проволоки	—	Без изменений	Без изменений	Без изменений

Таким образом, практика длительного хранения и эксплуатации кабелей управления с токопроводящими жилами из незащищенных медных проволок показывает, что основные характеристики этой проволоки снижаются

незначительно, что подтверждает возможность и целесообразность ее применения в качестве конструктивного элемента кабелей управления.

В последние годы, в связи с унификацией конструкций монтажных проводов и кабелей управления, возникли весьма веские соображения о применении в кабелях управления токопроводящих жил из медных луженых проволок. Действительно, единственным конструктивным отличием монтажного провода, допустим, с полиэтиленовой изоляцией марки МПМ от изолированной жилы кабелей управления марок КУШГПР или КУШГПВ является применение луженой медной проволоки для токопроводящей жилы. Учитывая то

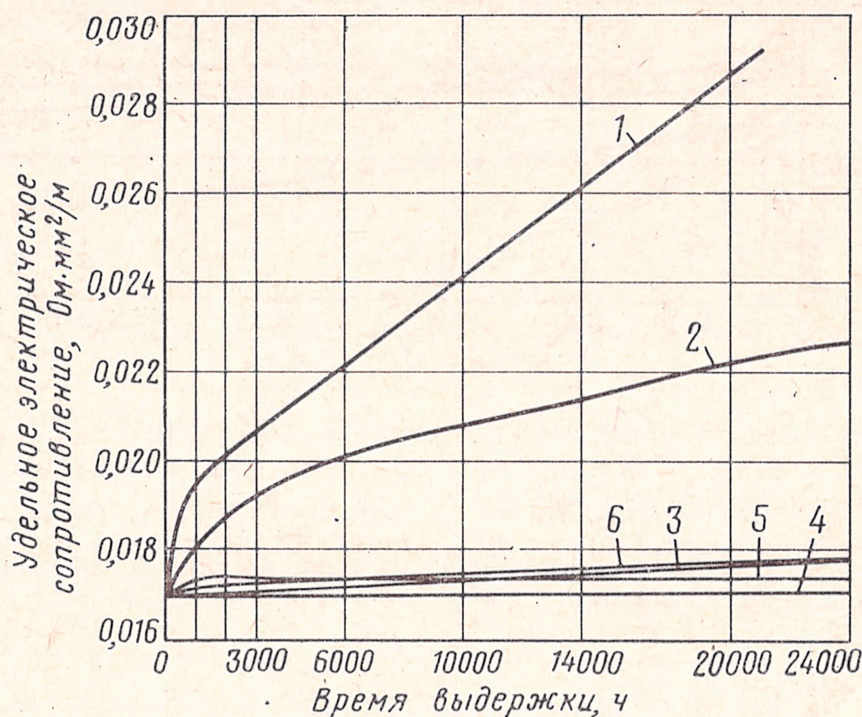


Рис. 3-1. Зависимость удельного электрического сопротивления медных проволок ∅ 0,15 мм от времени пребывания при +200 и +250 °С.

1, 3, 5 — выдержка при +250 °С соответственно медной незащищенной, медной посеребренной и никелированной проволок; *2, 4, 6* — выдержка при +200 °С для тех же проволок.

обстоятельство, что при изготовлении многожильных кабелей управления неизбежно остаются отрезки изолированных жил и количество этих отрезков, как правило, достаточно велико, указанное выше различие практически исключает возможность утилизации этих остатков путем сдачи их в качестве монтажных проводов соответствующих марок. Поэтому применение в этих кабелях токопроводящих жил из медных луженых проволок, несмотря на дополнительные расходы, связанные с лужением медной проволоки, позволило бы значительно сократить количество отходов, получающихся при изготовлении кабелей управления.

В каждом конкретном случае требуется глубокий экономический анализ, подтверждающий целесообразность применения медной

луженой проволоки, однако уже теперь существуют отдельные конструкции кабелей управления с использованием этой проволоки.

Токопроводящие жилы теплостойких кабелей управления, предназначенных для эксплуатации при 200—250 °С, изготовляются из медных посеребренных или никелированных проволок. Серебряные и никелевые по-

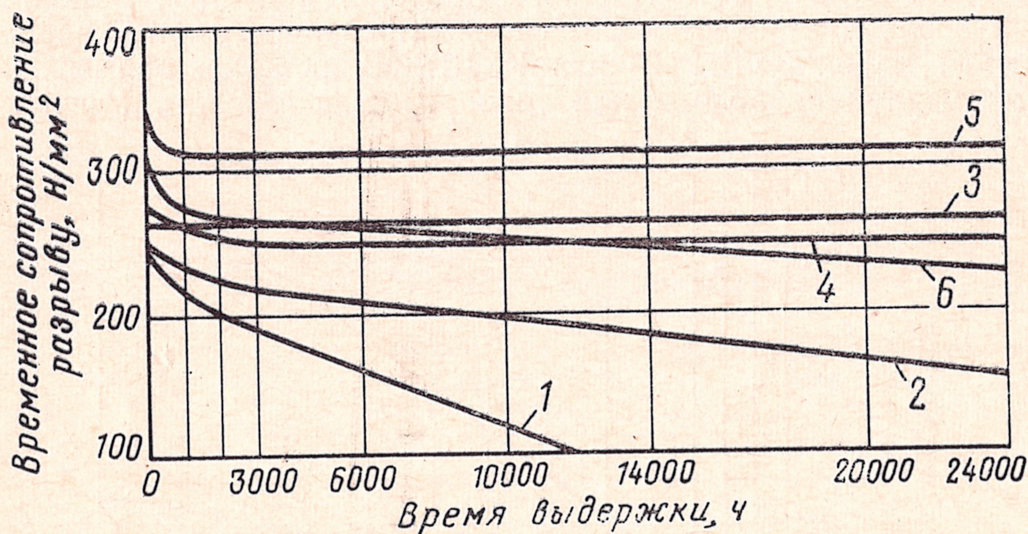


Рис. 3-2. Зависимость временного сопротивления разрыву медных проволок ∅ 0,15 мм от времени пребывания при +200 и +250 °С.

1, 3, 5 — выдержка при +250 °С соответственно медной незащищенной, медной посеребренной и никелированной проволок; *2, 4, 6* — выдержка при +200 °С для тех же проволок.

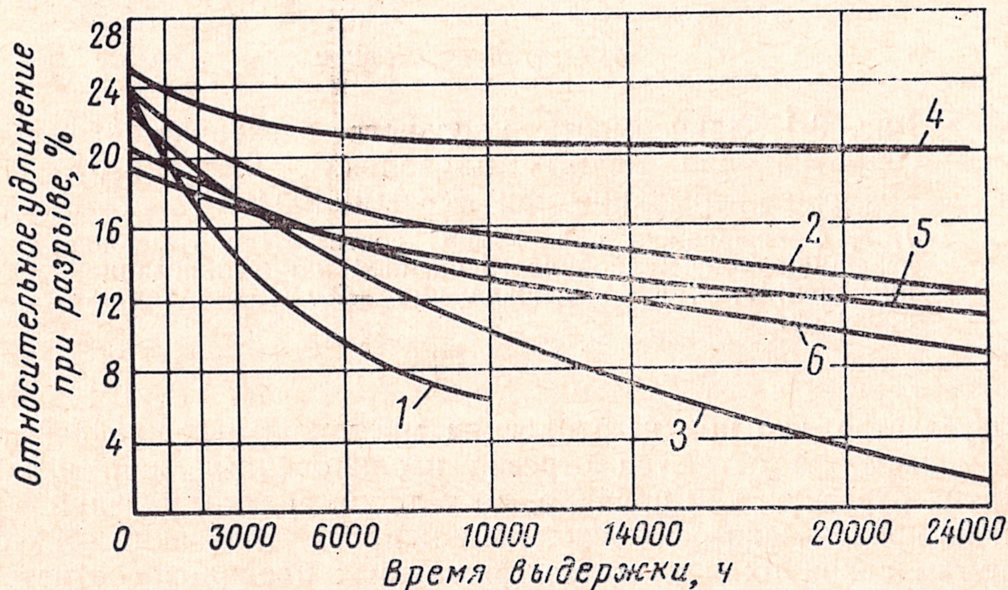


Рис. 3-3. Зависимость относительного удлинения при разрыве медных проволок ∅ 0,15 мм от времени пребывания при +200 и +250 °С.

1, 3, 5 — выдержка при +250 °С соответственно медной незащищенной, медной посеребренной и никелированной проволок; *2, 4, 6* — выдержка при +200 °С для тех же проволок.

крытия предохраняют медную проволоку от интенсивного теплового старения при указанных температурах, Эффективность такой защиты показана на рис. 3-1—3-3.

Б. ВЫБОР МАТЕРИАЛОВ И КОНСТРУКЦИЙ ИЗОЛЯЦИИ

В качестве изоляции токопроводящих жил кабелей управления используются следующие материалы и их комбинации: резиновые смеси нормальной нагревостойкости; поливинилхлоридные пластикаты; полиэтилен высокой плотности; полиэтилен — капрон; сополимер этилена и тетрафторэтилена (фторопласт-40Ш); резиновые смеси на основе кремнийорганических каучуков; политетрафторэтилен (фторопласт-4).

Сравнительные характеристики этих материалов представлены в табл. 3-5.

Первичным соображением при выборе материала изоляции токопроводящих жил кабелей управления является требование по длительной нагревостойкости. По этому параметру все кабели управления делятся на две группы — кабели нормальной и повышенной нагревостойкости. Кабели нормальной нагревостойкости (максимальная температура длительной эксплуатации до +70 °С) являются кабелями массового применения и составляют подавляющее большинство всех кабелей управления. К кабелям повышенной нагревостойкости относятся кабели с изоляцией из фторопласта-40Ш (+180 °С), кремнийорганической резины (200 °С) и фторопласта-4 (250 °С).

Поскольку нагревостойкость кабеля зависит не только от нагревостойкости материала изоляции, но и оболочки, в отдельных случаях теплостойкие изоляционные материалы (например, фторопласт-40Ш) могут применяться и в кабелях нормальной нагревостойкости. Как правило, это связано с повышенными температурами переработки защитных материалов (например, вулканизация резиновых оболочек), при которых нетеплостойкие материалы изоляции расплавляются.

Вторым существенным моментом при выборе материала изоляции кабелей управления является оценка условий прокладки и эксплуатации этих кабелей. Для кабелей первой, а иногда и второй групп (см. стр. 73) целесообразно применять более экономичную и надежную пластмассовую изоляцию. Выбор такой изоляции позволяет создавать кабели, обладающие существенно

Таблица 3-5

Характеристика	Изоляционный материал						
	Резина нормальной нагревостойкости	Поливинилхлоридный пластикат	Полиэтилен высокой плотности	Капрон	Фторопласт-40Ш	Кремнийорганическая резина	Фторопласт-4
Плотность, г/см³	1,56	1,31	0,95	1,14	1,65	1,18	2,1—2 3
Предел прочности при разрыве, МПа	12,50	18,00—23,00	22,00—30,00	70,00	40,00	40,0—5,00	16,00—25,00
Относительное удлинение при разрыве, %	550	200—280	300—900	200	250	270	250—500
Модуль упругости при изгибе, МПа	6,00—8,00	8,00—20,00	450,00—700,00	550,00—800,00	1100,00	5,00—6,00	470,00—850,00
Температура размягчения, °C	—	175—180	130	125—134	265	—	327
Диапазон рабочих температур, °C	$-50 \div +65$	$-40 \div +70$	$-70 \div +70$	$-70 \div +85$	$-60 \div +180$	$-70 \div +200$	$-70 \div +250$
Электрическая прочность, кВ/мм	22,0	25,0	45—60	—	30	20,0	40,0
Удельное объемное электрическое сопротивление, Ом·см	$5{,}0 \cdot 10^{14}$	$1 \cdot 10^{13}$	$1 \cdot 10^{17}$	—	$1 \cdot 10^{17}$	$1 \cdot 10^{14}$	$1 \cdot 10^{17}$
Технологичность	Удовлетворительная	Хорошая	Хорошая	Удовлетворительная	Удовлетворительная	Хорошая	Удовлетворительная

меньшими размерами и массами, чем аналогичные кабели с резиновой изоляцией (рис. 3-4).

Для кабелей третьей группы, предназначенных для непрерывной подвижной эксплуатации, единственным видом изоляции являются изоляционные резиновые смеси, обеспечивающие гибкость и длительную изгибостойкость конструкций. При этом для кабелей нормальной нагревостойкости используются обычные, широко распространенные резиновые смеси на основе натурального и синтетических каучуков, а для кабелей повышенной нагревостойкости — кремнийорганические резины.

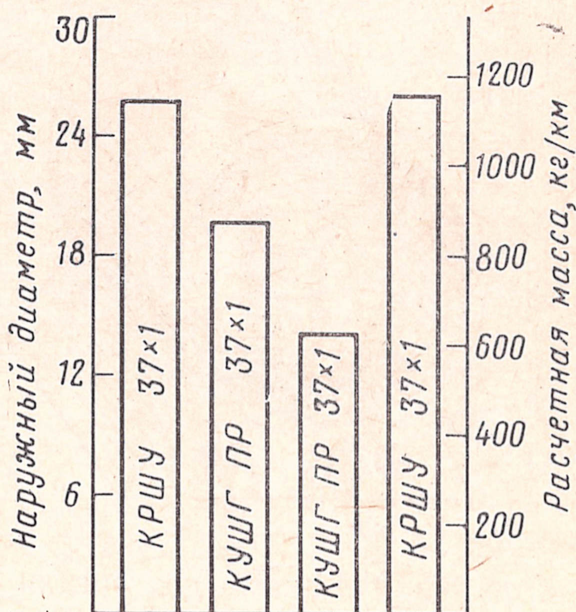


Рис. 3-4. Сравнение наружных размеров и массы кабелей управления с резиновой и пластмассовой изоляцией.

При прочих равных условиях весьма важным требованием при выборе материала изоляции кабелей управления является стойкость такой изоляции к продавливающим нагрузкам. Продавливающие нагрузки, действующие на изоляцию жил, органически присущи многожильным кабелям, в том числе и кабелям управления в силу особенностей их конструкции (скрученный сердечник). Поэтому в отличие от монтажных или установочных проводов, для которых значительные продавливающие нагрузки могут возникнуть только при условии жесткого монтажа, для кабелей управления такие нагрузки являются постоянными и различные монтажные и эксплуатационные воздействия могут их только усилить. В связи с этим была разработана методика оценки стойкости изоляции многожильных кабелей к продавливающим нагрузкам и проведены исследования этой характеристики для изолированных жил разных типов. Испытания проводились на установке, показанной на рис. 3-5. Два отрезка *6* (изолированной жилы длиной 0,5 м) располагались на металлической подставке *5* крест-накрест под углом друг к другу, примерно соответствующим углу скрутки изолированных

жил в кабель. Все это устройство помещалось в термостат *2*, в котором устанавливалась температура, соответствующая максимальной рабочей температуре кабеля. Затем на изолированные жилы в месте их пересечения устанавливалась плита *4* с начальным грузом *1*. После получасовой выдержки при заданной температуре к жилам прикладывалось испытательное напряжение 1500 В. Если образцы выдерживали испытательное напряжение, к начальному грузу добавлялся дополнительный груз *3*, и вся процедура повторялась до пробоя образцов. Критерием стойкости изолированных жил к продавливанию являлся суммарный груз, при котором образцы не выдерживали испытания. Результаты испытаний на стойкость к продавливанию изолированных жил кабелей управления разных типов приведены в табл. 3-6.

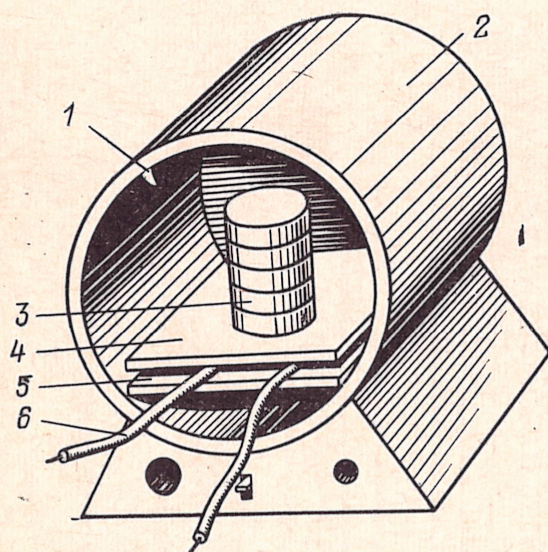


Рис. 3-5. Установка для оценки стойкости изолированных жил кабелей управления к продавливанию.

1 — термопара; *2* — термостат; *3* — набор грузов; *4* — плита; *5* — металлическая подставка; *6* — испытываемые изолированые жилы.

Анализ данных табл. 3-6 показывает, что наибольшей стойкостью к продавливанию обладают кабели с комбинированной изоляцией из полиэтилена и капрона и фторопласта-40Ш. Учитывая высокие электрические ха-

Таблица 3-6

Тип кабеля по нагревостойкости	Материал изоляции	Рабочая температура, °С	Стойкость к продавливанию, Н
Кабели нормальной нагревостойкости	Резина на основе НК	65	260
	Поливинилхлоридный пластикат	70	320
	Полиэтилен высокой плотности	70	390
	Полиэтилен-капрон	70	520
	Фторопласт-40Ш	70	500
Кабели повышенной нагревостойкости	Фторопласт-40Ш	180	380
	Кремнийорганическая резина	200	200
	Фторопласт-4	200	510

рактеристики полиэтилена и его малую плотность, а также то обстоятельство, что в настоящее время имеется отечественное высокопроизводительное оборудование для одновременного наложения полиэтилена и капрона, для кабелей управления нормальной нагревостойкости наиболее перспективным видом изоляции следует считать комбинированную изоляцию из полиэтилена и капрона. Что касается фторопласта-40Ш, то его применение в качестве изоляции кабелей управления нормальной нагревостойкости, как отмечалось выше, является вынужденным и экономически неоправданным.

Изоляцию из поливинилхлоридного пластиката и незащищенного полиэтилена следует считать малоперспективной ввиду более низкой надежности такой изоляции по сравнению с комбинированной изоляцией из полиэтилена и капрона.

Принципиально толщина изоляции жил кабелей управления выбирается так же, как и толщина изоляции низковольтных монтажных проводов [Л. 1]. В основу этого выбора положен метод оценки уровня коэффициентов вариации значений пробивных напряжений отрезков изолированных жил с разной толщиной изоляции. В результате строится зависимость, показанная на рис. 3-6, и по ней выбираются оптимальные для данного материала толщины изоляции, соответствующие минимальным значениям коэффициентов вариации.

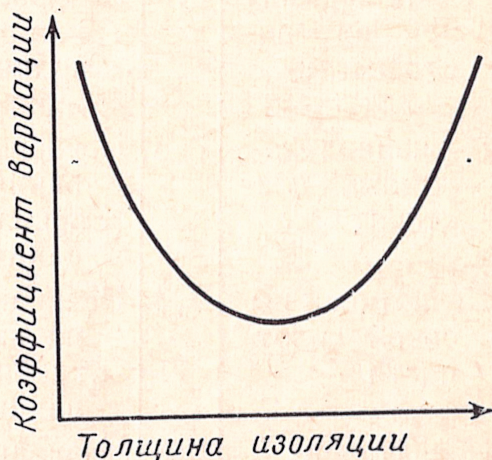


Рис. 3-6. Типичная кривая для выбора толщины изоляции.

Особенностью выбора толщины изоляции жил кабелей управления является то, что в отличие от монтажных проводов толщина изоляции для экранированных жил выбирается, как правило, большей, чем для неэкранированных. Это объясняется тем, что экраны изолированных жил, выполненные в виде оплеток из медных проволок, в конструкции кабельного сердечника являются источниками возможного механического повреждения и последующего электрического пробоя изоляции. Во-первых, сама технология изготовления таких экранов

неизбежно вызывает обрывы отдельных проволок в оплетке. Коротко подстриженные концы этих проволок при приложении напряжения вызывают местные увеличения напряженности электрического поля, что сказывается на пробивном напряжении, и, главное, при определенных условиях могут прокалывать изоляцию. Опасность таких проколов особенно велика в период монтажа и эксплуатации при изгибах кабеля или при воздействии на него продавливающих нагрузок. Во-вторых, наличие различных технологических нагревов

Таблица 3-7

Изоляция	Толщина изоляции, мм	Наличие экрана	Статистические параметры распределений значений пробивных напряжений					
			в исходном состоянии		после скрутки в кабель		после многократных изгибов	
			$\overline{U}_{пр}$, кВ	C	$\overline{U}_{пр}$, кВ	C	$\overline{U}_{пр}$, кВ	C
Резина нормальной нагревостойкости	0,8	Неэкранированные	18,6	0,14	17,4	0,15	17,2	0,14
		Экранированные	14,3	0,21	13,6	0,24	10,2	0,31
Поливинилхлоридный пластикат	0,3	Неэкранированные	13,5	0,07	12,7	0,08	12,6	0,02
		Экранированные	10,5	0,08	10,1	0,12	8,3	0,15
Полиэтилен высокой плотности	0,3	Неэкранированные	24,4	0,07	23,8	0,08	20,4	0,12
		Экранированные	18,6	0,12	17,3	0,15	14,6	0,21
Полиэтилен-капрон	0,3	Неэкранированные	22,3	0,08	21,4	0,09	20,8	0,11
		Экранированные	22,6	0,08	20,8	0,10	20,2	0,12
Фторопласт-40Ш	0,3	Неэкранированные	23,1	0,108	22,1	0,12	21,3	0,15
		Экранированные	17,8	0,193	16,2	0,21	14,6	0,29
Кремнийорганическая резина	0,5	Неэкранированные	13,5	0,12	12,8	0,13	11,9	0,13
		Экранированные	10,6	0,19	9,4	0,24	8,3	0,30
Фторопласт-4	0,2	Неэкранированные	12,3	0,09	11,8	0,10	11,6	0,11
		Экранированные	11,8	0,14	10,9	0,15	10,2	0,18

кабеля при изготовлении оболочек (особенно при вулканизации оболочек из резины) приводит к тому, что оплетка врезается в изоляцию, оставляя на ее поверхности рифленые отпечатки. В результате среднее пробивное напряжение экранированных жил кабелей управления при одной и той же толщине изоляции всегда меньше, чем неэкранированных, а разброс значений этого параметра, как правило, больше, причем существенно увеличивается после воздействия на кабели различных механических нагрузок.

В табл. 3-7 приведены сравнительные данные по статистическим параметрам распределений значений пробивных напряжений для изолированных жил кабелей управления разных типов в экране и без экрана в исходном состоянии, после скрутки их в кабель и после многократных изгибов кабеля. Оценка указанных статистических параметров проводилась по результатам испытаний 25-метровых отрезков изолированных жил каждого типа по формулам

$$\bar{U}_{\text{пр}}=\sum_{i=1}^{N} U_{\text{пр}i}; \tag{3-1}$$

$$\bar{\sigma}=\sqrt{\sum_{i=1}^{N} (U_{\text{пр}i}\bar{U}_{\text{пр}})^2/(N-1)}\ ; \tag{3-2}$$

$$C=\bar{\sigma}/\bar{U}_{\text{пр}}; \tag{3-3}$$

где $\bar{U}_{\text{пр}}$, $\bar{\sigma}$ и C — соответственно среднее значение пробивного напряжения, стандартное отклонение и коэффициент вариации, а N — общее количество образцов для каждой серии испытаний.

Только в кабелях с комбинированной изоляцией из полиэтилена и капрона наличие поверх изоляции электрического экрана в виде оплетки из медных проволок практически не приводит к снижению электрической прочности, что лишний раз говорит о перспективности этой конструкции. Для всех остальных видов изоляции наличие экрана заметно снижает пробивное напряжение, что вынуждает выбирать большую толщину изоляции для экранированных жил. Рекомендуемые толщины изоляции для экранированных и неэкранированных токопроводящих жил кабелей управления приведены в табл. 3-8.

Таблица 3-8

Изоляция	Наличие экрана	Толщина изоляции, мм, для диапазона сечений, мм²		
		0,05—0,12	0,20—0,50	0,75—2,5
Резина нормальной нагревостойкости	Неэкранированные	—	—	0,8
	Экранированные	—	—	0,9
Поливинилхлоридный пластикат	Неэкранированные	0,25	0,30	0,40
	Экранированные	0,35	0,45	0,60
Полиэтилен высокой плотности	Неэкранированные	0,25	0,30	0,40
	Экранированные	0,35	0,45	0,60
Полиэтилен-капрон	Неэкранированные	0,25	0,30	0,40
	Экранированные	0,25	0,30	0,40
Фторопласт-40Ш	Неэкранированные	0,25	0,30	0,40
	Экранированные	0,30	0,35	0,50
Кремнийорганическая резина	Неэкранированные	0,40	0,50	0,60
	Экранированные	0,55	0,70	0,80
Фторопласт-4	Неэкранированные	0,20	0,30	0,40
	Экранированные	0,20	0,30	0,40

Электрические экраны изолированных жил кабелей управления выполняются в виде оплетки из медной проволоки. Подробные исследования по выбору оптимальных параметров оплеток для электрических экранов проведены инженером В. П. Иноземцевым и изложены в [Л. 1]. В. П. Иноземцев показал, что для частот помехонесущего поля до 10 МГц оптимальная плотность оплетки лежит в пределах 70—75%. Увеличение плотности оплетки выше этого значения влечет за собой необоснованный перерасход цветных металлов и увеличение массы цепей управления (рис. 3-7).

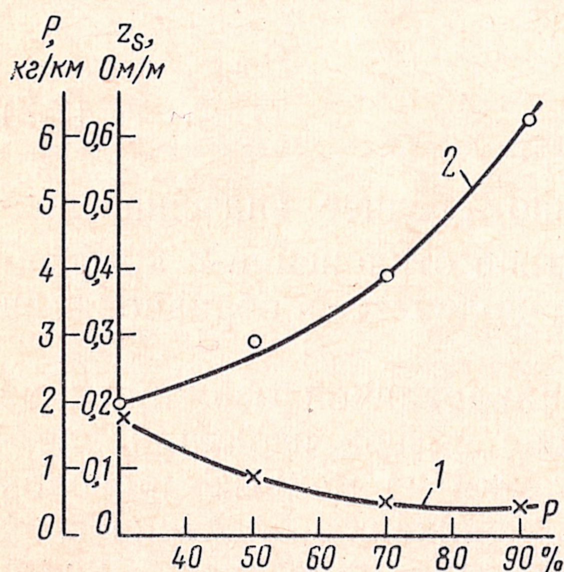


Рис. 3-7. Зависимость сопротивления связи и массы медной проволоки экрана от плотности оплетки.

1 — сопротивление связи; *2* — масса медной проволоки.

Угол оплетки рекомендуется выбирать в диапазоне 55—70°. Рекомендуемый диа-

Таблица 3-9

Диаметр изолированной жилы, мм	Менее 1,0	1,0—1,5	1,5—2,0	Свыше 2,0
Диаметр проволоки для оплетки, мм	0,08	0,10	0,12	0,15

метр проволоки для оплетки в зависимости от диаметра изолированной жилы приведен в табл. 3-9.

3-2. КОНСТРУИРОВАНИЕ СЕРДЕЧНИКОВ

При конструировании сердечников кабелей управления принципиальными вопросами, связанными с унификацией этих кабелей, а также обеспечением их оптимальных технических характеристик, являются: выбор формы сердечника; размерного ряда числа цепей управления однородных кабелей; оптимальной упаковки сердечников неоднородных и комбинированных кабелей; шагов и направления скрутки изолированных жил; обоснование применения и выбор конструкций скрепляющих и защитных обмоток; выбор конструкций общих электрических экранов.

А. ВЫБОР ФОРМЫ СЕРДЕЧНИКОВ

Кабели управления могут иметь круглую или плоскую форму. До последнего времени большинство кабелей управления имели традиционную круглую форму. Такая форма для однородных и большинства неоднородных кабелей является более экономичной (кабели круглой формы имеют больший коэффициент заполнения) и технически оправданной, особенно для кабелей, предназначенных для подвижной эксплуатации.

Однако современное развитие отраслей техники, потребляющих кабели управления, все чаще требует совмещения в одном кабеле совершенно разнородных как по геометрическим размерам, так и по функциональному назначению элементов, таких, как цепи контроля и управления, цепи питания (силовые цепи) и цепи передачи высокочастотных сигналов (радиочастотные кабели). Целесообразность создания такого рода комбинированных («гибридных») кабелей объясняется существенным упрощением кабельных трактов в аппаратуре

и удешевлением стоимости монтажных работ и других затрат у потребителя, связанных с изготовлением жгутов, монтажных отверстий, крепежных деталей и т. п.

Как правило, указанные кабели конструируются применительно к конкретному виду аппаратуры и поэтому их практически невозможно унифицировать. Вместе с тем значительная экономическая и техническая эффективность использования таких кабелей в народном хозяйстве делает их весьма перспективными.

При попытке конструирования сердечников комбинированных кабелей круглой формы не всегда удается создать компактную конструкцию с высоким коэффициентом заполнения. Поэтому возникла идея сгруппировать несколько круглых сердечников из однородных элементов, а затем соединить их в общий сердечник плоской формы.

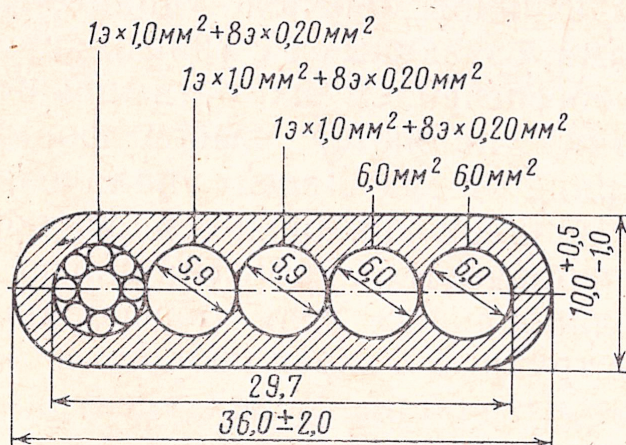


Рис. 3-8. Схема конструкции плоского кабеля марки П-КУФР.

В качестве примера на рис. 3-8 приведена схема сердечника плоского комбинированного кабеля управления марки П-КУФР.

Помимо приведенных выше соображений применение кабелей управления плоской формы может дать следующие преимущества: а) при наличии в кабеле цепей питания отвод тепла от кабеля плоской формы производится значительно интенсивнее, чем от кабеля круглой формы, тем более, что в последнем силовые жилы, как правило, располагаются в центре сердечника; б) в случае прямолинейной прокладки кабели плоской формы удобнее в монтаже; в) при наличии монтажных изгибов кабели плоской формы являются более гибкими (если изгиб производится в плоскости, параллельной широкой стороне кабеля), чем эквивалентный кабель круглой формы; г) «расщепление» сердечника в кабелях плоской формы позволяет во многих случаях избегать применения общего электрического экрана, ограничившись экранированием одного из круглых сердечников.

Таким образом, для неоднородных и комбинированных кабелей управления в некоторых случаях более

удобной и экономичной является плоская форма сердечника, что и реализуется в конкретных конструкциях этих кабелей. Для однородных кабелей управления по-прежнему превалирует традиционная круглая форма сердечника. Вместе с тем наметившаяся тенденция к увеличению количества цепей управления в одном кабеле может привести к созданию однородных кабелей плоского типа. Объясняется это следующим. В настоящее время максимальное число изолированных жил в однородных кабелях круглой формы не превышает 108. Одной из главных причин этого ограничения является отсутствие крутильных машин, способных даже в несколько проходов скрутить большее количество жил. При конструировании кабелей плоской формы с использованием существующего парка технологического оборудования в принципе возможно получить кабели с числом изолированных жил не менее 200. При этом количество технологических отходов (остатков изолированных жил при общей скрутке) будет в этом случае значительно меньше.

Однако в любом случае при создании кабелей управления плоской формы следует помнить, что эти кабели могут эксплуатироваться только в фиксированном состоянии. Что касается монтажных изгибов, то они допустимы только в одной плоскости, параллельной широкой стороне кабеля.

Для кабелей, подвергающихся при эксплуатации периодическим свертываниям и развертываниям, а также для кабелей, предназначенных для непрерывной подвижной эксплуатации, форма сердечника должна быть круглой.

Б. РАЗМЕРНЫЙ РЯД ЧИСЛА ЦЕПЕЙ УПРАВЛЕНИЯ ОДНОРОДНЫХ КАБЕЛЕЙ

Основными соображениями при выборе размерного ряда числа цепей управления однородных кабелей являются требования потребителей, экономичность конструкции кабеля, оцениваемая коэффициентом заполнения, и технологические возможности изготовления этих кабелей. При этом указанный ряд по возможности должен быть равномерным, а частота его — оптимальной как с точки зрения потребителя, так и поставщика. К сожалению, в первые годы создания кабелей управления во внимание в основном принимались только требования потребите-

лей, что привело к появлению довольно странных с точки зрения теории скрутки конструкций, включающих, например, 10, 20, 50 и т. д. изолированных жил.

Как известно, скрутка однородных кабелей управления соответствует нормальной правильной скрутке, которая предусматривает пять основных конструкций, отличающихся друг от друга числом изолированных жил, расположенных в центре (рис. 3-9).

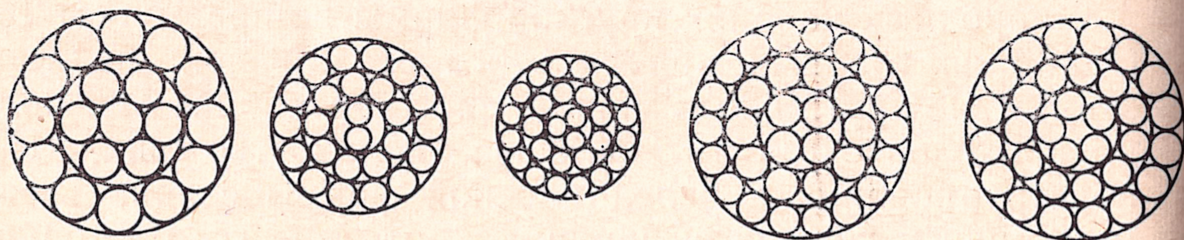


Рис. 3-9. Основные конструкции нормальной правильной скрутки.

Общее число изолированных жил в кабеле для указанных конструкций определяется по формулам

$$n_1=3k(k-1)+1; \qquad (3\text{-}4)$$
$$n_2=k(3k-1); \qquad (3\text{-}5)$$
$$n_3=3k^2; \qquad (3\text{-}6)$$
$$n_4=k(3k+1); \qquad (3\text{-}7)$$
$$n_5=k(3k+2), \qquad (3\text{-}8)$$

где k — число повивов.

Экономичность конструкции скрученного сердечника оценивается коэффициентом заполнения, т. е. отношением суммы сечений изолированных жил к площади круга, описанного вокруг скрученного сердечника:

$$f=nd^2/D^2, \qquad (3\text{-}9)$$

где d — диаметр изолированной жилы.

Основные конструктивные данные сердечников нормальной правильной скрутки приведены в табл. 3-10.

Учитывая низкое значение коэффициента заполнения, а также геометрическую неустойчивость конструкций сердечников с двумя изолированными жилами в центре, исключаем ее, а из остальных конструкций составляем размерный ряд: 3, 4, **7**, 12, 14, 16, **19**; 27; 30; 33; **37**; 48; 52, 56, **61**, 75, 80, 85, **91**, 102, 108, 114, 120. Этот ряд можно считать удовлетворительным с точки зрения экономичности конструкций и технологических возможностей кру-

тильного оборудования. Однако частота его неоправданно велика, что может привести к большим трудностям при организации производства этих кабелей. Поэтому, взяв за основу наиболее экономичные конструкции с одной

Таблица 3-10

Число изолированных жил в центре	Число повивов	Число изолированных жил в наружном повиве	Общее число изолированных жил	Наружный диаметр скрученного сердечника	Коэффициент заполнения, %
1	1	1	1	d	100
	2	6	7	$3d$	78
	3	12	19	$5d$	76
	4	18	37	$7d$	75,5
	5	24	61	$9d$	75
	6	30	91	$11d$	75
2	1	2	2	$2d$	50
	2	8	10	$4d$	62,5
	3	14	24	$6d$	67
	4	20	44	$8d$	69
	5	26	70	$10d$	70
	6	32	102	$12d$	70
3	1	3	3	$2{,}15d$	64
	2	9	12	$4{,}15d$	70
	3	15	27	$6{,}15d$	71
	4	21	48	$8{,}15d$	73
	5	27	75	$10{,}15d$	74
	6	33	108	$12{,}15d$	74
4	1	4	4	$2{,}4d$	70
	2	10	14	$4{,}4d$	72
	3	16	30	$6{,}4d$	73
	4	22	52	$8{,}4d$	74
	5	28	80	$10{,}4d$	74
	6	34	114	$12{,}4d$	75
5	1	5	5	$2{,}7d$	68
	2	11	16	$4{,}7d$	73
	3	17	33	$6{,}7d$	73
	4	23	56	$8{,}7d$	74
	5	29	85	$10{,}7d$	75
	6	35	120	$12{,}7d$	75

изолированной жилой в центре (7, 19, 37 и т. д.), выбираем новый оптимальный ряд: 3, 4, 7, 14, 19, 27, 30, 37, 52, 61, 91 и 108, который и зафиксирован в ГОСТ 18404-73.

В конструкциях современных кабелей управления встречаются несколько типов сердечников, состоящих из жил (в дальнейших расчетах называемых элементами) разных размеров и выполненных из различных материалов.

Современные тенденции к миниатюризации изделий выдвигают главную задачу конструирования кабелей управления — получение максимальной плотности упаковки. Конструкции сердечников, обладающие этим свойством, являются оптимальными. В идеальном случае сечение отдельных элементов представляет собой круг. Задача определения оптимальной конструкции сердечника может быть сформулирована следующим образом: заданы n_1 кругов радиусом r_1, n_2 кругов радиусом r_2, ..., n_N кругов радиусом r_N; требуется разместить эти круги внутри круга r так, чтобы плотность упаковки, или коэффициент заполнения η, был максимален.

По определению

$$\eta = \frac{1}{R^2} \sum_{k=1}^{N} n_k r_k^2, \tag{3-10}$$

где R — радиус круга.

Эта задача относится к области комбинаторной геометрии, точное решение ее получить непросто, поэтому для прикладных целей можно ограничиться приближенным решением, в основе которого будут лежать некоторые упрощающие предположения.

Предположим, во-первых, что имеется всего два типа элементов, образующих сердечник, т. е. $N=2$, а радиусы элементов — r_1 и r_2; во-вторых, что сердечники могут быть только правильными, т. е. такими, что множество точек, являющихся центрами кругов, представляющих собой сечения элементов, может быть разбито на подмножества, каждое из которых содержит не менее трех точек, лежащих на одной и той же окружности из некоторого семейства концентрических окружностей C.

Будем считать, наконец, что окружность, являющаяся границей круга, принадлежит семейству C.

Окружности, образующие семейство C, будем обозначать C_1, C_2, ..., C_M.

Множество элементов, центры которых лежат на одной окружности C_i, будем называть i-м **повивом**.

Кроме допущений, сформулированных выше, условимся считать, что все элементы одного повива—одного типа. Будем называть i-й повив заполненным, если каждый из кругов, центры которых расположены на окружности C_i, касается двух соседних; в противном случае повив называется незаполненным.

Очевидно, оптимальные конструкции следует искать лишь для сердечников с заполненными повивами.

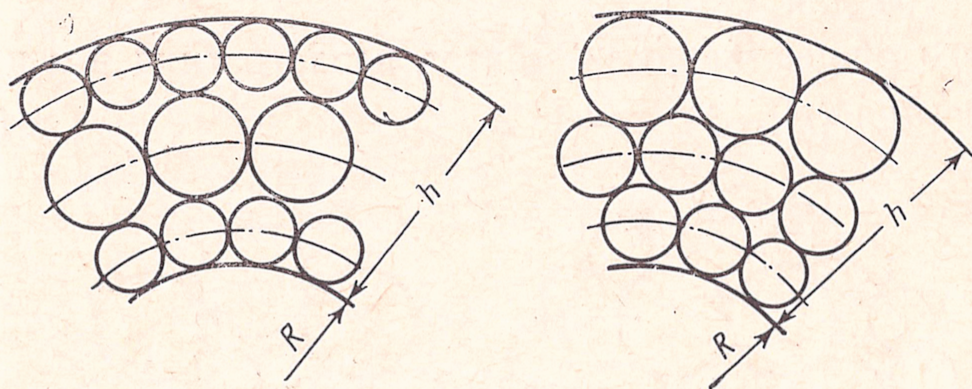


Рис. 3-10. Чередование повивов с различными элементами.

Порядок чередования повивов, состоящих из элементов разных типов, не сказывается на коэффициенте заполнения η. Действительно, рассмотрим два варианта чередования повивов (рис. 3-10):

а) $i-1$-й и $i+1$-й повивы состоят из элементов первого повива и в обоих повивах содержится n_1 элементов, а i-й повив состоит из n_2 элементов второго повива;

б) $i-1$-й и i-й повивы состоят из тех же n_1 элементов первого типа, а $i+1$-й — из n_2 элементов второго типа.

Окружности, на которых в обоих случаях лежат элементы $i-1$-го повива, одни и те же, поскольку с ними при переходе от варианта «а» к варианту «б» мы никаких преобразований не производим. Ширина полосы h, в которой располагаются три выделенных повива, также неизменна. Итак, в обоих вариантах никаких изменений ни в геометрических размерах сердечника, ни в числе элементов не происходит, поэтому коэффициент заполнения одинаков.

В силу сделанного замечания ограничимся рассмотрением сердечников, у которых в первых m_1 повивах расположены только элементы первого типа, а в следующих m_2 повивах — только второго.

Простейшие модели рассматриваемых сердечников приведены на рис. 3-11, из которого видно, что сердечники можно разделить на два типа: 1-й — определяемый условием $r_1/r_2<1$, 2-й — определяемый условием $r_1/r_2>1$.

Распределение числа элементов первого типа по повивам определяется арифметической прогрессией

$$n'_k=\begin{cases}1 & \text{для } k=0;\\ 6k & \text{для } k=1, 2\ldots,\end{cases}$$

так что общее число элементов первого типа равно:

$$N_1=1+3m_1(m_1-1),\ m=1,\ 2\ldots \quad (3\text{-}11)$$

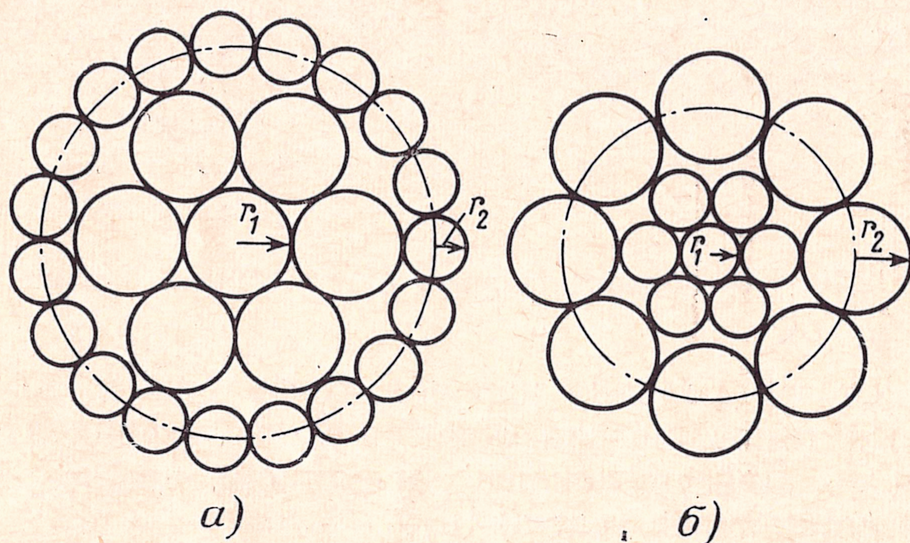


Рис. 3-11. Основные типы сердечников комбинированных кабелей.

а — при $r_1/r_2>1$; *б* — при $r_1/r_2<1$.

Распределение числа элементов второго типа по повивам можно оценить следующим образом. Радиус окружности C_{m1+l}, на которой располагаются центры элементов второго типа, образующих l-й повив ($l=1, 2,\ldots, m_2$), равен:

$$r_{C_{m1+l}}=(2m_1-1)r_1+(2l-1)r_2.$$

Длина окружности C_{m1+l}.

$$L_{C_{m1+l}}=2\pi r_{C_{m1+l}}.$$

так что в качестве оценки числа элементов в l-м повиве можно принять:

$$n''_l=L_{C_{m1+l}}/2r_2=\pi[(2m_1-1)r_1/r_2+2l-1]. \quad (3\text{-}12)$$

Очевидно, наружный радиус сердечника равен:

$$r_н=(2m_1-1)r_1+2m_2r_2, \quad (3\text{-}13)$$

а площадь круга, в котором будут расположены все элементы сердечника:

$$S=\pi r_{н}^{2}=\pi\,[(2m_1-1)\,r_1+2m_2r_2]^2. \qquad (3\text{-}14)$$

Общее число элементов второго типа равно:

$$N_2=\pi\,[(2m_1-1)\,m_2r_1/r_2+m_2^2]. \qquad (3\text{-}15)$$

Для обозначения отношения радиусов введем переменную x:

$x=r_1/r_2,$

тогда полную площадь круга, в котором будут расположены все элементы сердечника, можно выразить в виде

$$S=\pi r_2^2\,[(2m_1-1)\,x+2m_2]^2.$$

Коэффициент заполнения теперь можно выразить:

$$\eta=\frac{[1+3m_1\,(m_1-1)]\,x^2+\pi\,[(2m_2-1)\,m_2x+m_2^2]}{[(2m_1-1)\,x+2m_2]^2}. \qquad (3\text{-}16)$$

Выше было отмечено, что следует различать два типа конструкций: первый, когда $x<1$, и второй, когда $x>1$. Ниже проведем тщательный анализ этих типов с целью получения содержательных количественных оценок, позволяющих выявить различие между ними.

г. ВЫБОР КОНСТРУКЦИЙ СЕРДЕЧНИКОВ КОМБИНИРОВАННЫХ КАБЕЛЕЙ УПРАВЛЕНИЯ

Будем считать, что полное количество жил задано и равно N. Число элементов второго типа зависит от конструктивных параметров m_1, m_2, x, т. е. является функцией

$N_2=f(m_1;\ m_2;\ x).$

Результаты предыдущего изложения позволяют в явном виде представить эту функцию

$$f(m_1;\ m_2;\ x)=\begin{cases}\pi\,[(2m_1-1)\,m_2x+m_2^2] & \text{для } x<1;\\ 1+3m_1(m_1-1) & \text{для } x>1.\end{cases} \qquad (3\text{-}17)$$

Ограничимся случаем, когда m_1 произвольно, а $m_2=1$, т. е. такими конструкциями, в которых имеется произвольное число повивов элементов одного типа и лишь

один наружный повив элементов другого типа. В этом случае

$$N_2 = f(m;\ 1;\ x) = \begin{cases} \pi(2m-1)x + 1 & \text{для } x < 1; \\ 1 + 3m(m-1) & \text{для } x > 1. \end{cases} \qquad (3\text{-}18)$$

Среднее число элементов в сердечнике
$N = N_1 + N_2 = 1 + 3m(m-1) + \pi(2m-1)x + \pi.$

Из этой формулы, выразив m через N и x, получим:

$$2m - 1 = \frac{2}{3}\left[\sqrt{3(N-\pi) - 3/4 + \pi^2x^2} - x\pi\right]$$

или, если вместо π писать просто число 3, что в нашем приближенном методе вполне оправданно, и пренебречь постоянной 1/12 под корнем, получим:

$2m - 1 = 2\sqrt{N/3 - (1 - x^2)} - x.$

Теперь (3-18) может быть написана в виде

$$N_2 = f(N,\ x) = \begin{cases} 6x\sqrt{N/3 - (1-x^2)} - x] + 3 & \text{для } x < 1 \\ N - 3 - 6x[\sqrt{N/3 - (1-x^2)} - x] & \text{для } x > 1. \end{cases} \qquad (3\text{-}19)$$

Отметим, что условие существования функции $f(N,\ x)$ имеет вид $N \geqslant 3(1-x^2)$ и при $x \longrightarrow 0$ приводит к неравенству $N \geqslant 3$. Это следует понимать так; когда радиусы элементов, располагающихся внутри, уменьшаются до нуля, сердечник уже однородного кабеля не может состоять менее, чем из трех жил. Итак, минимальный оптимальный сердечник должен содержать три жилы.

Функция $N_2 = f(x,\ N)$ графически может быть представлена, как поверхность (рис. 3-12). Из рис. 3-12 видно принципиальное различие между рассматриваемыми двумя типами конструкций сердечников.

Оказывается скорость увеличения числа элементов с большим радиусом в конструкциях, где эти элементы укладываются внутрь жгута, значительно больше скорости их увеличения, когда они укладываются снаружи.

Если в (3-18) зададим фиксированные значения N_2, определяющей число элементов на периферии, то получим линии равного уровня, изображенные на рис. 3-12 жирными линиями на соответствующих поверхностях. Цифры, стоящие около этих линий, указывают число таких элементов в сердечнике.

Введем обозначения:

$U=(N_2-3)/6,\ Y=N/3-1.$

Уравнение линий равного уровня можно привести к виду

$$Y-2U=U^2/x^2\,(x<1); \tag{3-20}$$

$$Y-(2U+1)=2x\sqrt{2U+1}\,(x>1). \tag{3-21}$$

Уравнения (3-19), (3-20) могут быть положены в основу номограмм, с помощью которых можно легко рассчитывать конструкцию сердечников. Номограммы приведены на рис. 3-13.

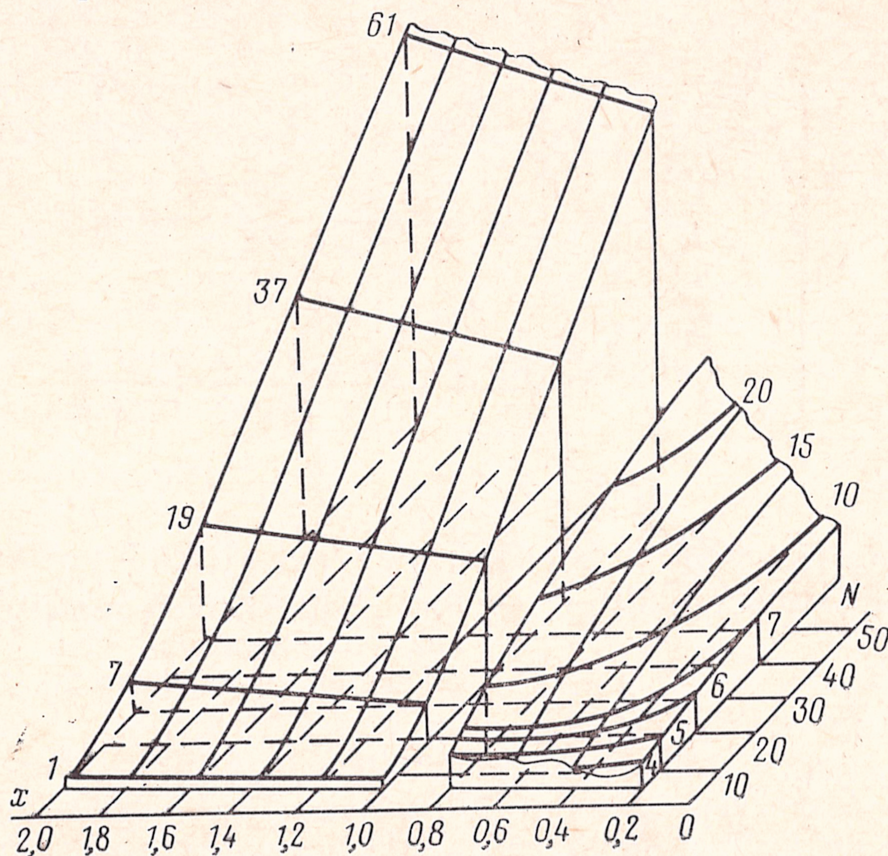


Рис. 3-12. Поверхность числа элементов в наружном повиве.

На общей вертикальной оси откладываются отношения диаметров D_1/D_2, образующих сердечник элементов. Это отношение всегда следует определять как отношение большего к меньшему.

Оси и вспомогательные линии, отмеченные цифрой *I*, предназначены для расчетов в случае, когда на периферии (во внешнем повиве) располагаются элементы второго типа (большего радиуса); цифрой *II* — когда на периферии расположены элементы первого типа (меньшего радиуса).

Пример 1. Пусть требуется определить полное число элементов в сердечнике, когда во внешнем повиве расположено семь элементов большего диаметра. Отношение диаметров $D_1/D_2=2{,}5$.

Для решения задачи на вертикальной оси находим точку, соответствующую числу 2,5, и проводим влево под прямым углом к оси линию до пересечения с линией, проведенной из точки *0* через точку оси N_2 (*I*), соответствующую значению числа элементов большего радиуса (семи). От полученной точки пересечения параллельно оси D_1/D_2 перемещаемся на кривую *I*, откуда перемещаясь по направ-

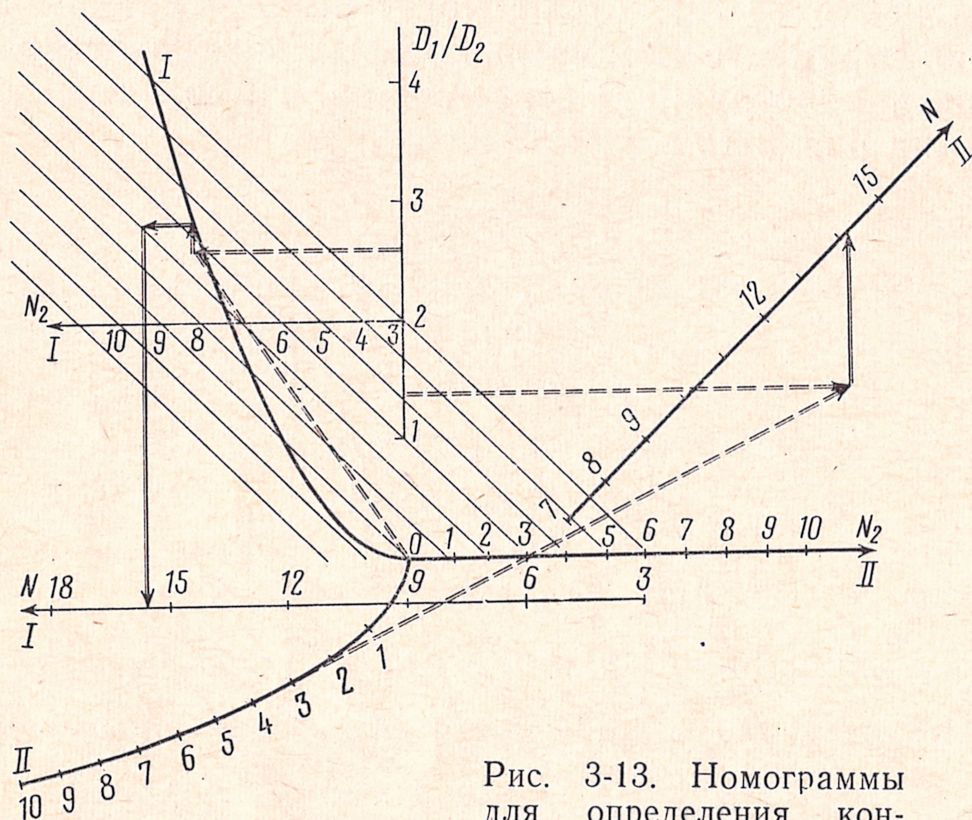


Рис. 3-13. Номограммы для определения конструкции сердечников.

лению, перпендикулярному оси D_1/D_2, движемся до точки пересечения с той прямой семейства наклонных прямых, которая соответствует требуемому значению N_2, т. е. семи. Проведя прямую параллельно оси D_1/D_2 через полученную точку пересечения вниз, на оси $N(I)$ находим полное число элементов сердечника 16.

Пример 2. Пусть требуется определить полное число элементов в сердечнике, когда внутри расположены три жилы большего радиуса ($N_2=3$). Отношение диаметров $D_1/D_2=1{,}2$.

В этом случае отмечают точки, соответствующие числу 3, на кривой *II* и на оси $N_2(II)$ и через них проводят прямую до пересечения с прямой, проведенной через точку оси D_1/D_2, соответствующую заданному отношению радиусов 1,2, под прямым углом к этой оси. Перемещаясь от полученной точки пересечения параллельно оси D_1/D_2, на шкале $N(II)$ находят искомый результат (в нашем случае $N=14$).

Приведенные номограммы позволяют решать любые задачи, когда из величин x, N_2 и N две заданы и требуется найти третью.

Другой наглядной количественной характеристикой, позволяющей выяснить различие двух рассматриваемых конструкций сердечников, является приведенный радиус.

Наружный радиус сердечника в случае, когда элементы одного типа расположены внутри правильной скруткой, а элементы другого типа расположены в один повив по периферии, определяются формулой (3-11) при $m_2=1$.

$r_м=(2m-1)r_1+2r_2$.

Наружный радиус сердечника, составленного из элементов только того типа, который образует внешний повив:

$r_н=r_2(2m+1)$.

Приведенным радиусом называется отношение

$$\rho=r_н/r_м \text{ или } \rho=\frac{2m-1}{2m+1}x+\frac{2}{2m+1}. \qquad (3\text{-}22)$$

Используя (3-12), выражающую число элементов в наружном повиве, которая в рассматриваемом случае может быть написана в виде

$$n=3[(2m-1)x+1], \qquad (3\text{-}23)$$

число повивов m удается выразить через число элементов во внешнем повиве n и (3-22) представить в виде

$$\rho=\left[1-\frac{2(x-1)}{(n/3-1)+2x}\right]x.$$

Если ввести новые переменные, совершая подстановки

$\tilde{\rho}=\rho-1$, $y=x-1$ и $u=n/3-1$,

то (3-21) для приведенного радиуса может быть представлено в простейшем виде

$$\tilde{\rho}=uy/(u+2y+2). \qquad (3\text{-}24)$$

Как функции двух переменных $\tilde{\rho}$ графически представляет собой поверхность (рис. 3-14). Из рис. 3-14 видно, что конструкции сердечников, в которых по периферии расположены элементы большего радиуса, характеризуются тем, что значения приведенного радиуса для них меньше единицы ($\tilde{\rho}<0$), а конструкции противоположного типа — тем, что $\rho>1$ ($\tilde{\rho}>0$). Численные значения при-

Таблица 3-11

y	x	Приведенные радиусы сердечников комбинированных кабелей при:										
		$\bar{u}$										
		0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
		n										
		3	9	15	21	27	33	39	45	51	57	63
—0,8	0,2	1,000	0,330	0,270	0,250	0,240	0,230	0,225	0,220	0,219	0,217	0,215
—0,6	0,4	1,000	0,570	0,500	0,470	0,455	0,445	0,437	0,433	0,430	0,425	0,423
—0,4	0,6	1,000	0,740	0,690	0,670	0,650	0,640	0,636	0,632	0,628	0,625	0,623
—0,2	0,8	1,000	0,890	0,857	0,842	0,833	0,828	0,824	0,821	0,818	0,816	0,815
0,0	1,0	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
0,2	1,2	1,000	1,091	1,125	1,143	1,154	1,161	1,167	1,171	1,174	1,177	1,178
0,4	1,4	1,000	1,167	1,236	1,273	1,297	1,313	1,324	1,333	1,341	1,346	1,351
0,6	1,6	1,000	1,230	1,333	1,392	1,420	1,455	1,474	1,490	1,500	1,510	1,517
0,8	1,8	1,000	1,286	1,422	1,490	1,553	1,590	1,615	1,635	1,653	1,667	1,680
1,0	2,0	1,000	1,333	1,500	1,600	1,665	1,715	1,750	1,777	1,800	1,820	1,834

веденного радиуса ρ в зависимости от естественных переменных x и n даны в табл. 3-11.

Наконец, рассмотрим коэффициент заполнения η, определяемый (3-15). В данном случае $m_2=1$, так что

$$\eta=\frac{[1+3m(m-1)]\,x^2+3\,[(2m-1)\,x+1]}{[(2m-1)\,x+2]^2}. \tag{3-25}$$

Если в (3-22) ввести число элементов во внешнем повиве n и выразить через него в (3-24) m, то используя

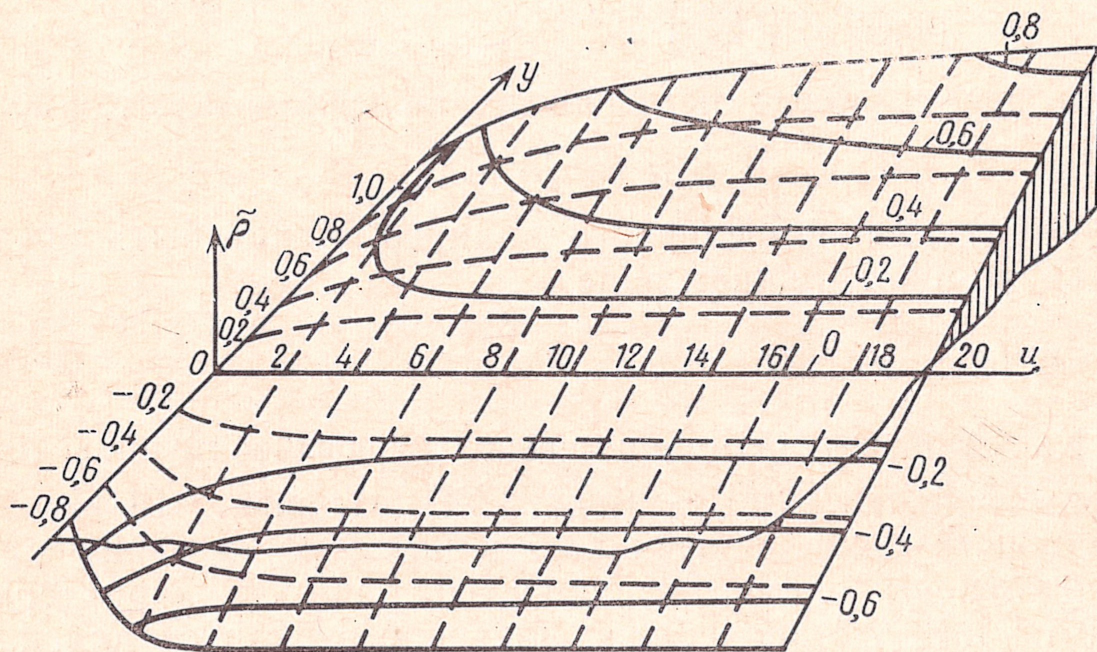


Рис. 3-14. Поверхность приведенного радиуса сердечников.

замену $u=n/3-1$, можно получить простейшее выражение для η:

$$\eta=\frac{3}{4}+\left[\frac{x}{2(u+2)}\right]^2. \qquad (3\text{-}26)$$

Коэффициент заполнения η как функцию двух переменных можно изобразить в виде поверхности (рис. 3-15). Из (3-25) непосредственно следует, что при каждом фиксированном x при $u \to \infty$, η стремится к предельному значению $\eta_\infty=0{,}75$.

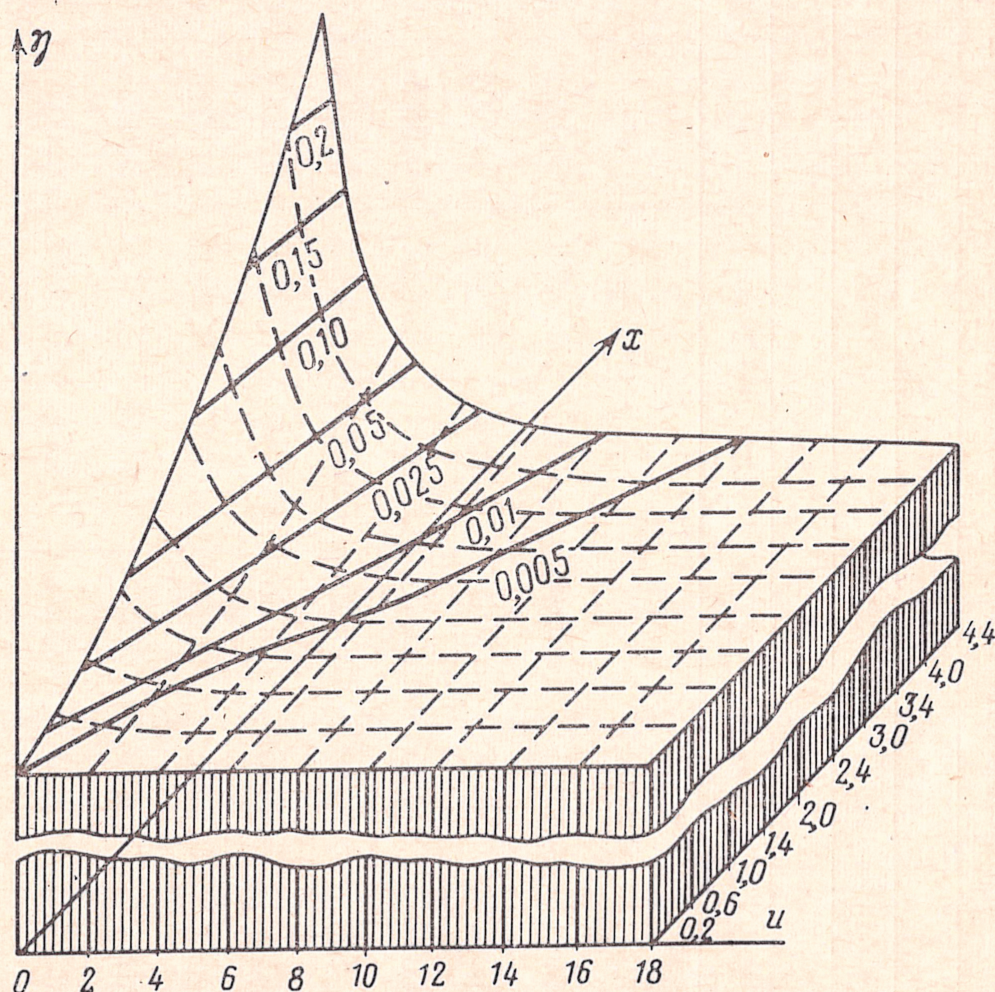


Рис. 3-15. Поверхность коэффициента заполнения.

Из рис. 3-15 видно, что коэффициент заполнения выше для конструкций, в которых во внешнем повиве расположены элементы меньшего радиуса, причем наибольшее различие между коэффициентами заполнения рассматриваемых конструкций наблюдается, когда во внешнем повиве число элементов сравнительно невелико ($n \leqslant 20$); коэффициент заполнения практически не зависит ни от конструктивных элементов, ни от числа элементов во внешнем повиве, когда это число значительно

Таблица 3-12

x	Числовые значения превышения коэффициента заполнения над η_{∞} при:										
	u										
	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
	n										
	3	9	15	21	27	33	39	45	51	57	63
0,2	0,0025	0,0006	0,0003	0,0001	—	—	—	—	—	—	—
0,4	0,0100	0,0025	0,0011	0,0006	0,0004	0,0002	0,0002	0,0001	—	—	—
0,6	0,0225	0,0056	0,0025	0,0013	0,0009	0,0006	0,0005	0,0004	0,0003	0,0002	0,0002
0,8	0,0400	0,0100	0,0043	0,0025	0,0016	0,0011	0,0008	0,0006	0,0006	0,0004	0,0003
1,0	0,0625	0,0156	0,0069	0,0038	0,0025	0,0017	0,0013	0,0009	0,0008	0,0006	0,0005
1,2	0,0900	0,0225	0,0100	0,0056	0,0036	0,0025	0,0018	0,0014	0,0011	0,0009	0,0007
1,4	0,1225	0,0306	0,0137	0,0076	0,0049	0,0035	0,0025	0,0019	0,0015	0,0012	0,0010
1,6	0,1600	0,0400	0,0177	0,0100	0,0064	0,0043	0,0032	0,0025	0,0019	0,0016	0,0013
1,8	0,2025	0,0506	0,0225	0,0125	0,0081	0,0056	0,0041	0,0031	0,0025	0,0020	0,0017
2,0	0,2500	0,0625	0,0275	0,0156	0,0100	0,0069	0,0050	0,0038	0,0030	0,0025	0,0020

($n \geqslant 40$). Числовые значения превышения коэффициента заполнения η_∞ над η в зависимости от числа n и отношения радиусов элементов приведены в табл. 3-12.

К введенным характеристикам конструкций сердечников полезно добавить еще две: приведенную площадь сечения S_l, т. е. площадь сечения сердечника, определяемую (3-14), отнесенную к одной жиле, и приведенную массу q_l, т. е. массу единицы длины кабеля, отнесенную к одной жиле.

По определению

$S_l = S/N$,

а если воспользоваться (3-14) и (3-16), получим:

$$S_l = \pi r_2^2 \frac{1}{\eta}\left[1 + \frac{N_1}{N}(x^2 - 1)\right]. \tag{3-27}$$

Наконец, если q_1 и q_2 — массы единиц длин одного элемента первого и второго типа соответственно, то масса Q единицы длины сердечника кабеля

$$Q = N_1 q_1 + N_2 q_2, \tag{3-28}$$

а приведенная масса

$$q_l = \frac{Q}{N} = q_1 + \frac{N_2}{N}(q_2 - q_1). \tag{3-29}$$

Д. КОМБИНИРОВАННЫЕ КАБЕЛИ, СЕРДЕЧНИКИ КОТОРЫХ ЧАСТИЧНО СОСТОЯТ ИЗ ЭКРАНИРОВАННЫХ ЖИЛ

Комбинированные кабели управления, сердечники которых состоят из жил одной и той же конструкции, причем часть из них экранированные, находят широкое применение в современной технике и представляют собой частный случай общих конструкций, изложенных в п. В. Поэтому для анализа конструкций таких кабелей применимы все приведенные выше соображения.

Как было отмечено выше, анализ сводится к рассмотрению большого количества вариантов. Чтобы несколько сократить объем вариантов, примем условие, что число экранированных жил составляет 30—40% общего числа жил, а конечной целью анализа поставим сравнение двух принципиально разных конструкций: а) экранированные жилы расположены внутри; б) экранированные жилы лежат снаружи.

Число экранированных жил будем обозначать $n_э$, неэкранированных — n_0. Для расчета этих параметров применяем формулы (3-11), (3-12) и (3-15). Рассчитан-

Таблица 3-13

Распределение числа жил в сердечнике при разных вариантах конструкций

Вариант „а"				Вариант „б"			
$n_э$	n_0	N	Доля экранированных жил, %	$n_э$	n_0	N	Доля экранированных жил, %
3	13—11	16—14	20	7—8	3	10—11	71
4	14—12	18—16	23	7—8	4	11—12	65
7	17—14	24—21	31	8—10	7	15—17	56
12	22—19	34—31	36	11—12	12	23—24	49
14	23—20	37—34	40	11—13	14	25—27	46
19	26—22	45—41	44	12—14	19	31—33	40
27	31—26	58—53	49	15—17	27	42—44	39
30	33—27	63—57	50	15—18	30	45—48	35
37	35—30	72—67	53	16—19	37	53—56	32
48	41—34	89—82	55	18—22	48	66—70	29
52	42—35	96—87	56	19—22	52	71—74	28
61	45—37	106—98	60	20—24	61	81—85	26
75	50—42	125—117	62	22—26	75	97—101	24
80	51—43	131—123	63	23—27	80	103—107	24

Примечание. Два числа в столбцах означают, что рассматриваются конструкции, в которых отношение радиусов экранированных и неэкранированных жил изменяется от 1,545 до 1,28.

ные по этим формулам распределения числа экранированных и неэкранированных жил приведены в табл. 3-13.

Из табл. 3-13 видно, что конструкции, удовлетворяющие принятому выше условию по числу экранированных жил, в варианте «а» встречаются только при сравнительно небольшом общем числе жил 22—35, в варианте «б» — на несколько большей численности: 32—68.

Таблица 3-13а

Распределение числа жил в кабелях с двумя повивами на периферии при разных вариантах конструкций

Вариант „а"				Вариант „б"			
$n_э$	n_0	N	Доля экранированных жил, %	$n_э$	n_0	N	Доля экранированных жил, %
19	58—50	77—69	26	42—50	48	90—98	49
27	68—58	95—85	30	44—50	52	96—102	48
30	72—60	102—90	31	46—54	61	107—115	45
37	76—66	113—103	34	50—58	75	125—133	38

Примечание. Два числа в столбцах означает, что $r_э/r_0=1,545\div1,28$.

Добавим к рассмотренным группу конструкций, в которых жилы на периферии располагаются в два повива. Распределение жил в таких конструкциях приведено в табл. 3-13а.

Данные табл. 3-13а показывают, что среди конструкций, в которых экранированные жилы расположены внутри, имеется шесть приемлемых конструкций, а среди конструкций с экранированными жилами на периферии — пять. Все найденные конструкции характеризуются тем, что представляют собой конструкции с заполненными повивами; при $r_э/r_0=1{,}412$ они приведены в табл. 3-14.

Таблица 3-14

N	Конструкция сердечников		
	Вариант „а"	N	Вариант „б"
	Конструкция		Конструкция
23	1э+6э+16	32	1+6+12+13э
33	3э+9э+21	43	3+9+15+16э
36	4э+10э+22	46	4+10+16+16э
91	3э+9э+15э+29+35	54	1+6+12+18+17э
96	4э+10э+16э+30+36	129	3+9+15+21+27+24э+30э
109	1э+6э+12э+18э+33+39		

Таким образом, найдены все интересующие нас конструкции кабелей с общим числом жил не более 120.

До сих пор два рассматриваемых варианта выступали как равные, предоставляя лишь возможность выбора удовлетворяющих поставленным условиям конструкций из довольно широкого диапазона общего количества жил. Однако у нас есть возможность провести сравнение вариантов между собой, если ввести такие показатели, как приведенная площадь сечения или площадь сечения сердечника, отнесенная к одной жиле, S_l, и приведенная масса и масса единицы длины кабеля на одну жилу, q_l.

Воспользовавшись формулами (3-26) и (3-27), можно получить данные для сравнительной оценки конструкций двух типов, подобные приведенным в табл. 3-15.

Данные табл. 3-15 показывают, что в среднем все показатели кабелей, конструкция которых выполнена по варианту «а», лучше показателей кабелей, имеющих конструкцию по варианту «б». Более того нетрудно просчитать экономическую эффективность этих вариантов, что немаловажно при конструировании аппаратуры.

Таблица 3-15

Сравнительные характеристики кабелей							
Вариант „а"				Вариант „б"			
Общее число жил, из них экранированных	Коэффициент заполнения η	Приведенная масса q_1	Приведенная площадь S_1	Общее число жил, из них экранированных	Коэффициент заполнения η	Приведенная масса q_1	Приведенная площадь S_1
24/7э	0,7667	7,125	2,410	31/12э	0,7266	12,355	2,760
34/12э	0,7167	11,560	2,734	42/15э	0,7338	11,50	2,689
37/14э	0,7272	11,650	2,757	45/15э	0,7278	11,18	2,653
95/27э	0,7276	9,90	2,522	53/16э	0,7369	10,77	2,542
100/30э	0,7335	9,98	2,540	125/50э	0,7227	10,96	2,820
113/37э	0,7496	10,10	2,552				
В среднем	0,7320	10,052	2,5858	В среднем	0,7296	11,353	2,693

Примечание. Данные приведены для кабелей с неэкранированными жилами сечением 0,35 мм², диаметр по изоляции 1,3 мм, приведенная масса вычислена в условных единицах.

Е. ВЫБОР ШАГОВ И НАПРАВЛЕНИЯ СКРУТКИ ИЗОЛИРОВАННЫХ ЖИЛ

Выбор шагов и направления скрутки изолированных жил имеет весьма важное значение, так как от этого зависят как геометрическая устойчивость и гибкость всей конструкции кабеля, так и трудоемкость его изготовления и расход проводниковых и изоляционных материалов. При этом, поскольку между этими важнейшими характеристиками кабеля существует обратная зависимость (повышение гибкости и геометрической устойчивости связано с уменьшением шагов скрутки, а следовательно, и с уменьшением производительности крутильных машин и увеличением расхода материалов), необходимо выбор шагов скрутки производить дифференцированно, с учетом возможных условий применения кабелей.

Так, для кабелей управления, предназначенных для фиксированной прокладки с ограниченным количеством монтажных изгибов, размеры шагов (коэффициентов) скрутки должны быть приняты такими же, как и для контрольных кабелей. Такая постановка вопроса дает возможность для значительной части кабелей управления выбирать наиболее экономичные коэффициенты скрутки, обеспечивающие минимальные трудоемкость и расход материалов.

Достаточная геометрическая устойчивость конструкций таких кабелей может быть обеспечена чередующимися направлениями скрутки повивов изолированных жил.

Значительно сложнее обстоит дело с кабелями, предназначенными для подвижной эксплуатации. Как было показано в гл. 1, при определенных условиях эти кабели могут потерять геометрическую устойчивость (образование «спиралей» и «фонарей»). Исследования геометрической устойчивости кабелей в зависимости от размеров шагов и направления скрутки проводились по ускоренной методике на установке, описанной в § 1-4. Результаты этих исследований приведены в табл. 3-16.

Таким образом, исследования показали, что существует прямая зависимость между склонностью кабеля к потере геометрической устойчивости и размером шага скрутки наружного повива; при одностороннем направлении скрутки всех повивов обнаружен только один вид дефекта, а именно образование спирали; при чередующемся направлении скрутки повивов обнаружено оба вида дефектов («спирали» и «фонари»); при коэффициентах скрутки, меньших 14, потери геометрической устойчивости практически не происходит, независимо от направления скрутки сердечника.

Таблица 3-16

Марка кабеля	Направление скрутки	Коэффициент скрутки наружного повива	Вид дефекта	Количество циклов до появления дефекта
КУШГПВ 52×0,5	Правая односторонняя скрутка всех повивов	25	„Спираль"	600
		20	То же	1500
		18	„ „	3700
		16	„ „	4500
		14	Нет	Свыше 5000
		12	„	Свыше 5000
КУШГПВ 52×0,5	Чередующееся направление скрутки повивов. Направление скрутки наружного повива — правое	25	„Фонари" и „Спираль"	450
		20	То же	1200
		18	„ „	3400
		16	„ „	4200
		14	Нет	Свыше 5000
		12	„	Свыше 5000

В связи с вышеизложенным в табл. 3-17 приведены рекомендации по оптимальным конструкциям сердечников кабелей управления в зависимости от условий применения.

Таблица 3-17

Условия применения	Оптимальные направления и коэффициенты скрутки		
	Направление скрутки	Коэффициент скрутки	
		внутренних повивов	наружных повивов
Фиксированная прокладка	Чередующееся	22—25	18—20
Подвижная эксплуатация	Одностороннее	16—18	14—16

Изолированные жилы кабелей управления должны быть защищены от миграции различных компонентов, входящих в состав материалов, используемых для защитных оболочек. В процессе длительного хранения и эксплуатации, особенно при повышенных температурах, эта миграция становится довольно заметной и приводит к снижению электрических и механических характеристик токопроводящих жил и изоляции. Для токопроводящих жил кабелей управления, выполняемых из незащищенной медной проволоки, особенно опасна миграция несвязанной серы, входящей в состав многих резиновых смесей, используемых для оболочек этих кабелей. Поэтому, как правило, поверх скрутки изолированных жил в сердечниках кабелей управления накладывается обмотка из пленочных материалов, основным назначением которой является предохранение изолированных жил от указанной выше миграции. В качестве материалов для обмотки обычно используются пленки из полиамида, полиэфира (лавсана) и политетрафторэтилена (фторопласта-4). Применявшаяся ранее для этих целей триацетатная пленка в настоящее время не используется ввиду ее малой механической прочности, особенно при повышенной температуре.

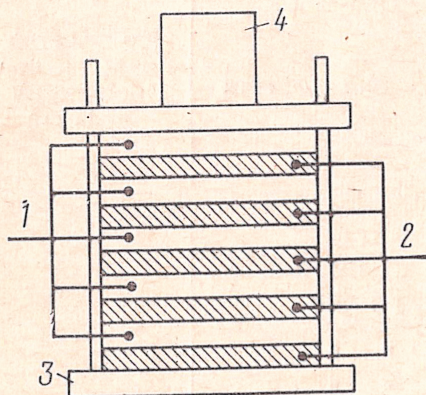


Рис. 3-16. Схема установки для оценки степени миграции компонентов защитных материалов в изоляцию.

Для оценки степени миграции компонентов защитных материалов в изоляцию при отсутствии защиты, а также эффективности защиты изоляции от миграции с помощью обмотки сердечника пленочными материалами существует простая методика (рис. 3-16).

Сначала пластины из изоляционного *1* и защитного *2* материалов поочередно кладутся на металлическую плиту *3* и прижимаются друг к другу грузом *4*. Вся установка ставится в термостат и выдерживается в нем при определенной температуре. Затем осуществляется та же процедура, однако пластины изоляционного и защитного материалов разделены вышеназванными пленками. Изменение исходных свойств изоляционных материалов в первом случае и отсутствие этих изменений во втором дают четкое представление о степени миграции компонентов и защитных свойств пленочных материалов.

Аналогичные испытания проводятся и на образцах кабелей различных конструкций. В табл. 3-18 приведены результаты испытаний образцов кабелей управления с полиэтиленовой изоляцией и оболочкой из резины марки ШБМ-45У с различными вариантами защитных обмоток. Образцы кабелей подвергались тепловому старению при 70, 90 и 105 °С в течение 125 суток. Степень эффективности защитных обмоток определялась по отсутствию потемнения изоляции и токопроводящей жилы после указанного старения, а также по сохранению эластичных свойств изоляции (отсутствие растрескивания изоляции при навивании жилы на собственный диаметр).

Как видно из табл. 3-18, для кабелей управления нормальной нагревостойкости следует рекомендовать обмотку из полиамидной или полиэтилентерефталатной пленки, наложенную с 50%-ным пере-

Таблица 3-18

Виды защитных обмоток	Внешний вид изолированных жил	Время до растрескивания изоляции, ч, при температуре, °С		
		70	90	105
Обмотка отсутствует	Сильное потемнение изоляции и жилы	336	5	5
Обмотка прорезиненной лентой	Сильное потемнение изоляции и жилы	336	5	5
Обмотка триацетатной пленкой	Потемнение изоляции и жилы	1080	24	24
Обмотка полиамидной пленкой с 10%-ным перекрытием	Местные потемнения изоляции под кромками пленки	1440	720	480
Обмотка полиамидной пленкой с 50%-ным перекрытием	Без изменений	1800	1080	720
Обмотка полиэтилентерефталатной пленкой с 50%-ным перекрытием	То же	1800	1080	720

крытием. Для кабелей повышенной нагревостойкости, естественно, следует применять обмотку из политетрафторэтиленовой пленки. Весьма существенным оказался вопрос направления указанных обмоток. В табл. 3-19 приведены результаты оценки геометрической устойчивости образцов кабелей управления с разным направлением обмоток. Испытания проводились на установке, описанной в § 1-4.

Таблица 3-19

Марка кабеля	Направление скрутки	Тип обмотки	Направление обмотки	Наличие „спирали"	Количество циклов до появления спирали
КУШГПВ 52×0,5	Правое	Обмотка отсутствует	—	Нет	Более 5 000
		Обмотка полиамидной пленкой с 50%-ным перекрытием	Правое	Есть	500—600
		Обмотка полиамидной пленкой с 50%-ным перекрытием	Левое	Нет	Более 5 000

Таким образом, с точки зрения обеспечения максимальной геометрической устойчивости конструкций кабелей весьма важным является то, чтобы защитная обмотка была наложена в направлении, противоположном направлению скрутки изолированных жил.

3-3. КОНСТРУИРОВАНИЕ ОБОЛОЧЕК

Защитная герметичная оболочка является одним из важнейших конструктивных элементов кабеля управления. От правильного выбора материала и конструкции оболочки зависят стойкость кабеля к большинству климатических и механических воздействий, а также его надежность и долговечность.

Как указывалось выше, в качестве материала оболочек кабелей управления используются резиновые смеси нормальной нагревостойкости, поливинилхлоридные пластикаты, кремнийорганические резины и резины на основе фторкаучуков.

А. ЗАЩИТНЫЕ ОБОЛОЧКИ ИЗ РЕЗИН НОРМАЛЬНОЙ НАГРЕВОСТОЙКОСТИ

Для кабелей управления нормальной нагревостойкости (массовая серия) применение оболочек из резины дает ряд существенных преимуществ по сравнению с оболочками из поливинилхлоридного пластиката.

Основным преимуществом резиновых оболочек является их исключительная гибкость, необходимая для кабелей, предназначенных для подвижной эксплуатации (свертывание и развертывание, перемотки, изгибы и т. п.). При этом весьма важным свойством большинства резин, используемых в качестве оболочек кабелей управления, является не только их стойкость к изгибам при пониженных температурах (как правило, до —50 °С), но и сохранение высокой эластичности при этих температурах, что практически не создает трудностей при подвижной эксплуатации таких кабелей на морозе. Это обстоятельство до известной степени является решающим при выборе материала оболочки для кабелей, предназначенных для подвижной эксплуатации при пониженных температурах, так как аналогичные кабели с оболочкой из поливинилхлоридного пластиката, хотя и не разрушаются при изгибах на морозе, но требуют значительно большего усилия для изгиба, что не всегда приемлемо в эксплуатации.

На рис. 3-17 представлены графики, характеризующие работу на изгиб при отрицательных температурах пластин резины марки ШБМ-45У и поливинилхлоридного пластиката рецептуры 1183. Как видно из этих графиков, при положительных температурах работы изгиба у обоих материалов находятся примерно на одном уровне. При

отрицательных же температурах усилия, необходимые для изгиба пластины из поливинилхлоридного пластиката, становятся существенно большими.

Вторым важным преимуществом резиновых оболочек является возможность создания надежных конструкций ввода кабелей управления в герметичные разъемы.

До недавнего времени герметизация ввода кабелей в разъемы осуществлялась путем обжатия оболочки кабеля резиновыми сальниками (втулками), как это показано на рис. 3-18.

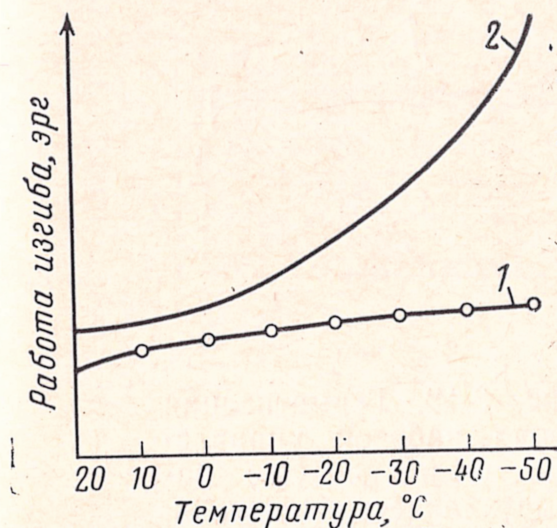


Рис. 3-17. Зависимость величин работы при изгибе от температуры.

1 — резина марки ШБМ-45У; 2 — поливинилхлоридный пластикат рецептуры 1183.

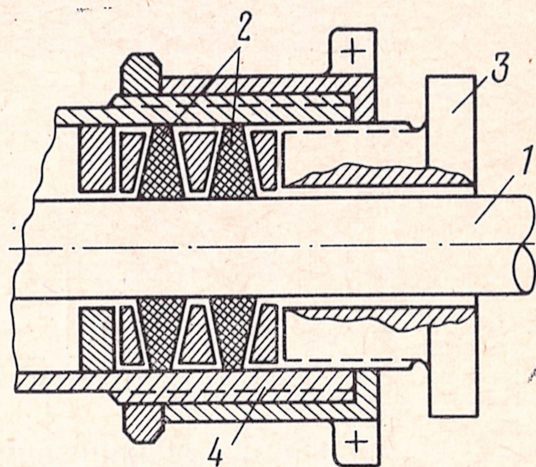


Рис. 3-18. Герметизация ввода кабелей управления в разъемы с помощью резиновых сальников.

1 — кабель; 2 — резиновые сальники; 3 — прижимная гайка; 4 — корпус разъема.

Как показала практика, такой способ не обеспечивает надежной герметичности ввода при длительной эксплуатации кабелей, так как с течением времени на поверхности резиновых или поливинилхлоридных оболочек в месте сжатия образуются «шейки», которые и приводят к разгерметизации всей конструкции. Поэтому разработан новый метод герметизации ввода кабелей в разъемы, основанный на привулканизации к резиновой оболочке кабелей металлической втулки и осуществлении самой герметизации апробированным способом — металл—резина (рис. 3-19). Лабораторные и натурные испытания нового способа герметичной заделки кабелей управления с резиновыми оболочками в разъемы показали высокую надежность и долговечность такой конструкции.

Таким образом, можно четко определить основные области применения кабелей управления нормальной нагревостойкости с резиновыми оболочками. Во-первых, такие оболочки должны быть использованы в кабелях, предназначенных для всех видов подвижной эксплуатации, и, во-вторых, во всех кабелях, независимо от характера эксплуатации, если условия монтажа требуют герметизации ввода их в разъемы.

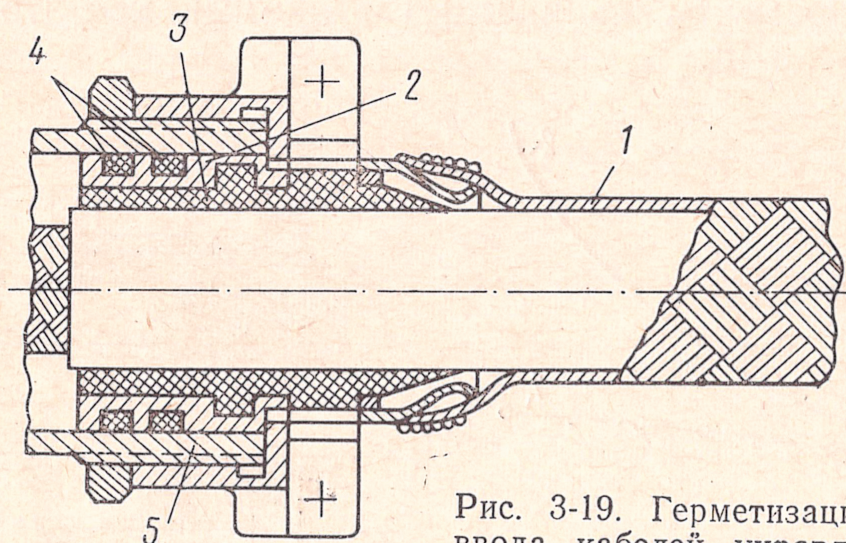


Рис. 3-19. Герметизация ввода кабелей управления в разъемы с помощью привулканизации металлической втулки.
1 — кабель; *2* — привулканизованная металлическая втулка; *3* — слой привулканизованной резины; *4* — уплотнительные резиновые сальники; *5* — корпус разъема.

Однако по сравнению с оболочками из поливинилхлоридного пластиката резиновые оболочки имеют ряд существенных недостатков, важнейшими из которых являются: значительно большая трудоемкость изготовления резиновых оболочек; неизбежность сравнительно длительного технологического нагрева кабеля при вулканизации резиновых оболочек; при прочих равных условиях толщины резиновых оболочек всегда несколько выше поливинилхлоридных; многие резины, используемые в качестве оболочек кабелей управления, обладают низкой стойкостью к воздействию атмосферного озона, агрессивных сред и распространяют горение.

Учитывая указанные выше обстоятельства, весьма важным является использование кабелей управления с резиновыми оболочками строго по назначению. Выбор резиновых смесей для оболочек кабелей управления зависит как от требований, предъявляемых к этим кабелям, так и от использованного материала изоляции.

Таблица 3-20

Характеристика	Состав (по массе) резин разных марок и названия каучуков					
	ШБМС-40А	ШТМС-45	ШНН-45Л	ШБМ-45У	ШБМ-45УА	ШНН-45У
	Натрий-бутадиеновый СКБМ-50Р и бутадиен-стирольный СКС-30 (40 м. ч+60 м. ч)	Полибутадиеновый СКД и бутадиенстирольный СКС-30 АРКМ-15 (30 м. ч+70 м. ч)	Бутадиен-нитрильный СКН-18 и наирит (50 м. ч+ +50 м. ч)	Натрий-бутадиеновый СКБМ-50Р и бутадиен-стирольный СКС-30 (90 м. ч+10 м. ч)	Натрий-бутадиеновый СКБМ-50Р и бутадиен-стирольный СКС-30 (90 м. ч+10 м. ч)	Бутадиен-нитрильный СКН-18 и наирит (50 м. ч+ +50 м. ч)
Плотность, г/см³	1,21	1,20	1,23	1,22	1,22	1,22
Разрывная прочность, МПа	8,20	10,16	12,00	7,90	7,90	10,00
Относительное удлинение при разрыве, %	300	298	290	248	248	300
Коэффициенты старения после 96 ч при 70 °С:						
по разрывной прочности	0,96	0,97	0,9	1,0	1,0	0,9
по относительному удлинению при разрыве	0,80	0,83	0,75	0,66	0,68	0,7
Холодостойкость по эргометру, °С	—45	—50	—50	—54	—54	—50
Область применения	Кабели КУРШ	Кабели МЭРШ-М	Кабели КФШР, КДФР, КДФЭР	Кабели КУШГ, ПР, КПКР	Кабели КЭШ-7М МЭПШ, МПШ	Кабели КУПКРП
Озоностойкость	Хорошая	Хорошая	Удовлетворительная	Плохая	Удовлетворительная	Удовлетворительная

Основными требованиями, влияющими на выбор типа резины для оболочки, являются: степень холодостойкости (изгиб при морозе); стойкость к воздействию атмосферного озона; стойкость к воздействию агрессивных сред; негорючесть.

Для кабелей общего применения главным является повышенная холодостойкость. Для этих целей используются более дешевые резиновые смеси на основе натрийбутадиенового и бутадиен-стирольного каучуков.

В отдельных случаях, когда кабели эксплуатируются в полевых условиях при воздействии атмосферы с повышенным содержанием озона, для оболочек кабелей используются резиновые смеси повышенной озоностойкости, которая в данном случае достигается за счет введения в состав смесей специальных добавок, так называемых антиозонантов.

Для кабелей управления специального применения в качестве оболочек используются масло-бензостойкие и негорючие резины на основе полихлоропренового и нитрильного каучуков.

Указанные выше резиновые смеси перерабатываются обычным способом (вулканизация при 150—200 °С) и могут быть использованы только для кабелей с резиновой или фторопластовой изоляцией, для которых такие технологические перегревы практически безопасны. Для кабелей с полиэтиленовой изоляцией эти резины использованы быть не могут. Специально для этих кабелей были разработаны рецептуры резин, способных вулканизоваться при 90—100 °С (резины низкотемпературной вулканизации). Снижение температуры вулканизации достигнуто за счет введения в смеси специальных ультраускорителей вулканизации, которые и позволили осуществить в конструкциях кабелей управления такое удачное сочетание изоляционного и защитного материалов. Основные марки резин, используемых для оболочек кабелей управления, и их основные характеристики приведены в табл. 3-20.

Таблица 3-2

Диаметр сердечника, мм	До 4	5—8	9—10	11—13	14—16	17—21	22—25
Номинальная толщина оболочки, мм	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4	2,6

Значения рекомендуемой толщины резиновых оболочек в зависимости от диаметра сердечника приведены в табл. 3-21.

Б. Оболочки из поливинилхлоридного пластиката

Оболочки из поливинилхлоридных пластикатов имеют ряд важных преимуществ по сравнению с резиновыми оболочками и в силу этого широко применяются в кабелях управления, предназначенных для неподвижной прокладки. К числу этих преимуществ прежде всего относятся сравнительно малая трудоемкость изготовления таких оболочек, стойкость к агрессивным средам и негорючесть. Существенным недостатком оболочек из обычных рецептур поливинилхлоридных пластикатов (например, Р-239) является их низкая холодостойкость, что значительно ограничивает область применения кабелей с такими оболочками.

Имеются специально разработанные холодостойкие рецептуры пластикатов (например, Р-1183), которые обеспечивают возможность транспортировать, хранить и эксплуатировать кабели на их основе при температурах до —50 °С. Однако холодостойкость в таких пластикатах достигается за счет пластифицирующих добавок, которые с течением времени испаряются с поверхности оболочек, что резко снижает долговечность кабелей. Так, при естественном хранении кабелей управления с оболочками из поливинилхлоридного пластиката Р-1183 в средней полосе европейской части СССР в течение 5 лет их холодостойкость снизилась с —50 до —30 °С.

В связи с этим большой интерес представляют разработанные в последнее время композиции на основе поливинилхлорида и нитрильного каучука (например, рецептура М-317). Эти композиции имеют значительно большую холодостойкость, чем описанные выше пластикаты, и сохраняют ее в течение длительного времени. Испытания опытных партий кабелей управления с оболочками из этих композиций дали положительные результаты. Некоторым недостатком композиции М-317 следует признать повышенную трудоемкость изготовления оболочек.

Сравнительные характеристики поливинилхлоридных пластикатов, используемых для оболочек кабелей управления, приведены в табл. 3-22.

Таблица 3-22

Характеристика	Рецептуры поливинилхлоридных пластикатов		
	Р-239	Р-1183	М-317
Плотность, г/см³	1,30—1,34	1,22—1,28	1,25
Разрывная прочность, МПа	14,00	11,00	12,00
Относительное удлинение при разрыве, %	280	350	400
Максимальная рабочая температура, °С	+70	+70	+70
Холодостойкость по МРТУ 6-05-1196-69, °С	—40	—55	—65
Технологичность	Хорошая	Хорошая	Удовлетворительная

Значения рекомендуемой толщины оболочки из поливинилхлоридного пластиката в зависимости от диаметра сердечника приведены в табл. 3-23.

Таблица 3-23

Диаметр сердечника, мм	До 10	11—13	14—16	17—21	22—25
Номинальная толщина оболочки, мм	1,4	1,7	1,9	2,1	2,3

в. ОБОЛОЧКИ КАБЕЛЕЙ УПРАВЛЕНИЯ ПОВЫШЕННОЙ НАГРЕВОСТОЙКОСТИ

В качестве материалов для оболочек кабелей управления повышенной нагревостойкости используются кремнийорганические резины и резины на основе фторкаучуков.

Основными преимуществами кремнийорганической резины являются высокая холодостойкость, малая плотность, высокая гибкость и очень хорошая технологичность. Массовый выпуск этой резины и доступность исходных материалов способствовали сравнительно невысокой ее стоимости.

Однако в качестве материала для защитных оболочек кремнийорганическая резина обладает весьма существенными недостатками, важнейшими из которых являются малая механическая прочность (особенно сопротивление раздиру), малая стойкость к различным агрессивным средам и горючесть. До известной степени применение этой резины для оболочек теплостойких кабелей являлось вынужденным, так как до недавнего времени

это был единственный доступный эластичный материал высокой нагревостойкости. В настоящее время положение существенно изменилось в связи с созданием новых типов кремнийорганических резин, а также резин на основе фторкаучуков.

Для создания высококачественных теплостойких оболочек наибольший интерес представляют кремнийорганические резины с повышенными механической прочностью и стойкостью к агрессивным средам. Повышение механической прочности кремнийорганических резин может быть достигнуто как за счет введения в них специальных усиливающих наполнителей (порошок фторопласта, мелкодисперсные волокна стекла или асбеста и т. п.), так и за счет повышенного наполнения этих резин основным наполнителем — окисью кремния. Главной проблемой при этом является сохранение высокой технологичности и холодостойкости смесей, так как именно эти параметры резко снижаются с увеличением количества наполнителей. Повышение стойкости кремнийорганических резин к агрессивным средам достигается путем прививки к молекулам силоксанового каучука атомов фтора (фторсилоксановый каучук). Резины на основе

Таблица 3-24

Характеристика	Тип резины			
	Кремнийорганическая резина марки К-8 или К-69	Кремнийорганическая резина повышенной механической прочности	Фторсилоксановая резина	Резина на основе фторкаучука
Плотность, г/см³	1,2	1,2	1,2	1,8—2,0
Сопротивление разрыву, МПа	60—70	80—90	60—70	130—150
Относительное удлинение при разрыве, %	250—300	200—250	200—250	200—250
Остаточное удлинение, %	4—6	4—6	6—8	2—4
Сопротивление раздиру, Н/мм	140—180	200—250	140—160	250—300
Твердость по ТМ-2	45—50	60—70	60—70	60—70
Холодостойкость по ГОСТ 2068-70, °С	Ниже —75	Ниже —75	—55÷—60	—25÷—30
Нагревостойкость, °С	200—250	200—250	155—200	150—180
Набухание после 24 ч пребывания при 20 °С, %:				
в соляровом масле	23	—	3	0—2
в бензине	150	—	10	0—2

этого каучука обладают значительно большей стойкостью к воздействию масла, бензина и других агрессивных сред, чем обычные кремнийорганические резины, а также не распространяют горения (табл. 3-24). Однако, как правило, механические характеристики указанных резин не превышают характеристик стандартных кремнийорганических резин, а по стоимости значительно их превосходят. В связи с этим широкого применения фторсилоксановые резины пока не получили.

Перспективным теплостойким материалом для кабельных оболочек является также резина на основе фторкаучуков [Л. 7]. Эта резина, широко применяемая в смежных отраслях техники, до недавнего времени не могла быть использована в кабельной промышленности из-за весьма плохой технологичности. На основе фторкаучука СКФ-26 разработана резиновая смесь марки Ф-168, пригодная для переработки на серийном кабельном оборудовании [Л. 11]. Отличительными признаками оболочек из этой резины являются высокая механическая прочность, негорючесть и исключительно высокая стойкость практически ко всем агрессивным средам. Кабели с защитными оболочками из резины Ф-168 могут длительно эксплуатироваться при температурах 150—180 °С. Однако применение этой резины в качестве оболочек кабелей управления ограничивается недостаточной холодостойкостью. При фиксированной прокладке холодостойкость таких кабелей не превышает —40÷—50 °С, а при подвижной эксплуатации —20÷—30 °С в зависимости от размеров изделий. Дальнейшее совершенствование резин на основе фторкаучуков должно осуществляться в направлении увеличения холодостойкости и улучшения технологичности.

Основные свойства резин, применяемых в качестве оболочек кабелей управления повышенной нагревостойкости, приведены в табл. 3-24.

3-4. КОНСТРУИРОВАНИЕ ЗАЩИТНЫХ ПОКРОВОВ

Для защиты кабелей управления от грызунов, а также для предотвращения случайных механических повреждений в некоторых случаях поверх оболочки накладывается панцирная броня в виде оплетки из проволок. В отличие от контрольных кабелей такая конструкция броневых покровов практически не снижает гибкости кабелей, что

позволяет эксплуатировать их в подвижных режимах (рис. 3-20).

До недавнего времени панцирные оплетки кабелей управления в основном изготовлялись из стальных оцинкованных проволок диаметром 0,3 *мм,* выпускаемых по ГОСТ 1526-70. По данным [Л. 4] цинковое покрытие является одним из наиболее распространенных способов защиты стали от атмосферной коррозии. Однако практика хранения и эксплуатации кабелей управления с панцирными оплетками из такой проволоки показала весьма низкую долговечность этих оплеток (в условиях атмосферы с повышенной влажностью интенсивная коррозия проволок оплетки начинается спустя полгода после начала хранения или эксплуатации кабелей). По-видимому, основной причиной расхождения теоретических данных с практикой хранения и эксплуатации изделий явилось некачественное изготовление этой проволоки (неравномерность толщины цинкового покрытия, пористость, отслоение покрытия и т. п.). Кроме того, сами условия изготовления, монтажа и эксплуатации кабелей управления не исключают возможности сдира цинкового покрытия, что в свою очередь способствует интенсивной коррозии стальной проволоки.

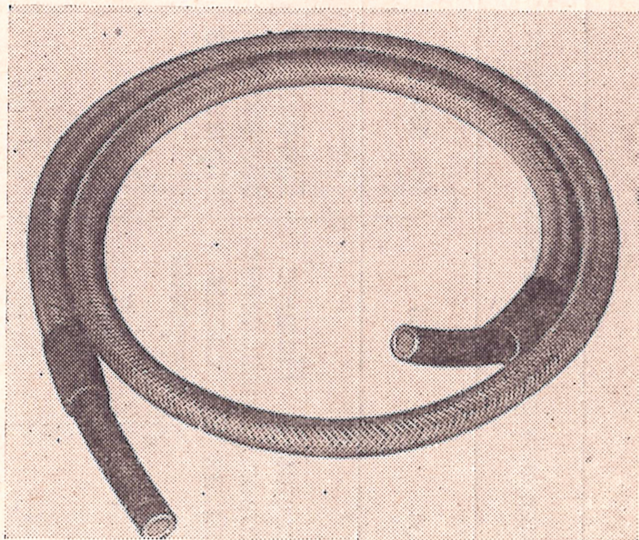


Рис. 3-20. Внешний вид кабеля управления с гибкой панцирной броней.

С целью увеличения коррозионной стойкости панцирных оплеток из стальных оцинкованных проволок была предпринята попытка покрывать поверхность кабелей при монтаже их в аппаратуру различными антикоррозионными лакокрасочными составами. Однако это мероприятие оказалось недостаточно эффективным из-за специфической конструкции оплетки (при наложении лакокрасочного состава практически невозможно было добиться сплошного покрытия отдельных проволок

Таблица 3-25

Материал проволоки	Критерий оценки	Исходное состояние	Время выдержки при повышенных влажности и температуре, ч					
			100	200	350	500	750	1500
Стальная оцинкованная проволока	Внешний вид	—	Окисление цинкового покрытия	Окисление цинкового покрытия	Полное окисление, следы коррозии	Проволока полностью поржавела	—	—
	Разрывная прочность, МПа	4,9—5,0	4,9	4,8	4,7	4,6	—	—
	Электрическое сопротивление проволок, Ом/м	1,55	1,62	1,66	1,82	1,83	—	—
Стальная нержавеющая проволока	Внешний вид	—	Изменений цвета и следов коррозии нет	Изменений цвета и следов коррозии нет	Изменений цвета и следов коррозии нет	Изменений цвета и следов коррозии нет	Изменений цвета и следов коррозии нет	Изменений цвета и следов коррозии нет
	Разрывная прочность, МПа	7,53	7,53	7,53	7,53	7,53	7,53	7,53
	Электрическое сопротивление проволок, Ом/м	10,14	10,2	10,24	10,32	10,34	10,36	10,36

в местах их пересечений).

В связи с вышеизложенным были проведены сравнительные лабораторные и натурные испытания коррозионной стойкости стальных оцинкованных проволок и проволок из нержавеющей стали. При лабораторных испытаниях образцы проволоки, намотанные на стеклянные трубки диаметром 3 мм, помещались в термовлагокамеру, в которой устанавливались относительная влажность

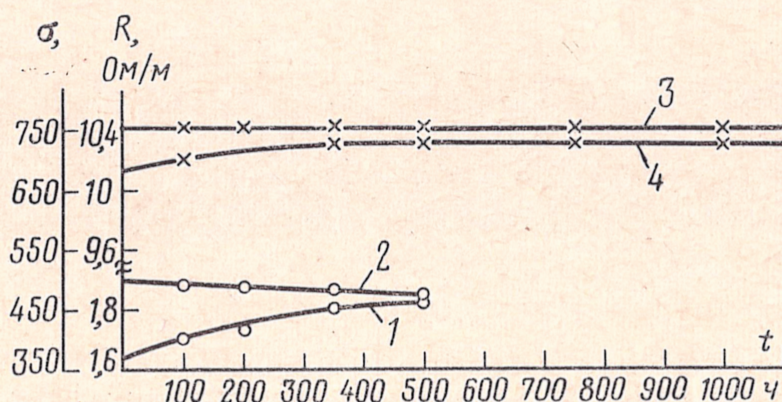


Рис. 3-21. Зависимость разрывной прочности (МПа) и электрического сопротивления стальных проволок разных типов от времени выдержки при повышенных температуре и влажности.

1, 3 — стальная оцинкованная проволока; *2, 4* — стальная нержавеющая проволока.

воздуха 98% и температура +40 °С. Оценка коррозионной стойкости производилась качественно — по внешнему виду проволоки и количественно — по изменению значений разрывной прочности и электрического сопротивления проволок (табл. 3-25 и рис. 3-21).

При натурных испытаниях в условиях полевого хранения были заложены кабели с панцирной оплеткой из стальной оцинкованной и нержавеющей проволоки. После года пребывания в полевых условиях кабели были подвергнуты визуальному осмотру (рис. 3-22).

Таким образом, учитывая жесткие требования, предъявляемые к кабелям управления по долговечности и сохраняемости, применение панцирных оплеток из стальных оцинкованных проволок можно рекомендовать только для кабелей, предназначенных для хранения и эксплуатации внутри отапливаемых помещений с нормальной влажностью. Для всех остальных условий хранения и эксплуатации в качестве материала панцирной оплетки следует применять нержавеющую проволоку из хромоникелевой стали Х18Н9Т, обладающую высокой коррозионной стойкостью. В отдельных случаях, когда

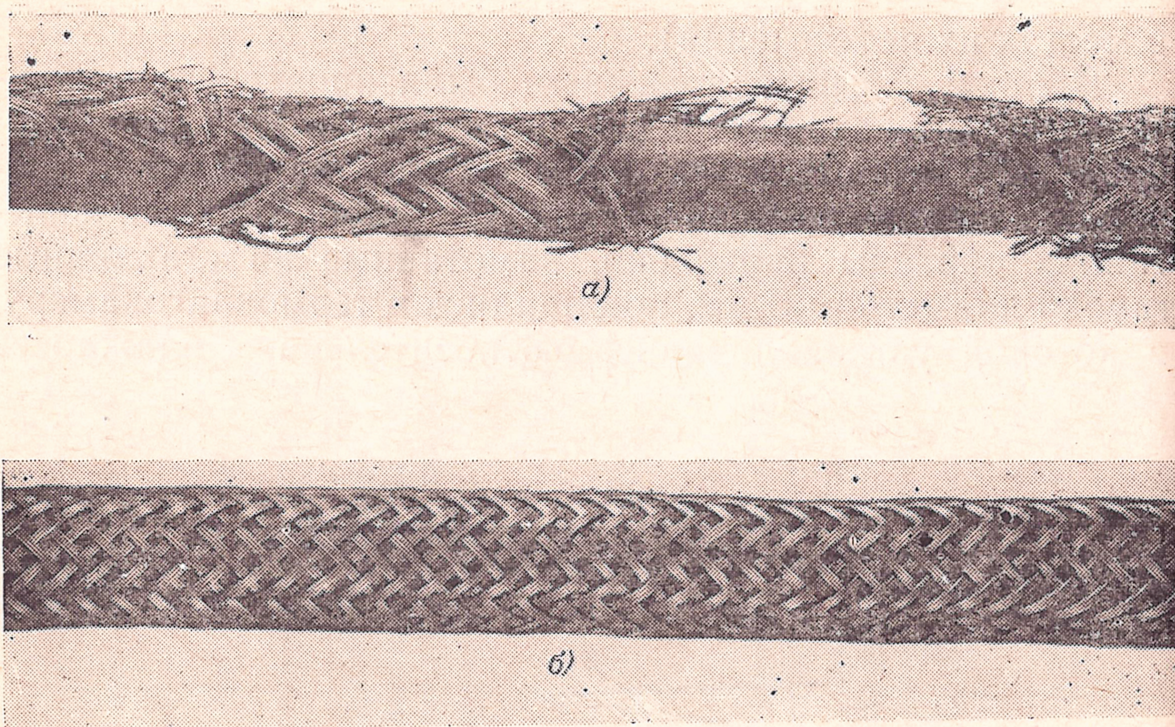


Рис. 3-22. Внешний вид кабелей с панцирными оплетками из разных проволок после 1 года пребывания в агрессивной среде.

а — стальная оцинкованная проволока; *б* — стальная нержавеющая проволока.

требования к кабелям управления по защите от грызунов сочетаются с требованиями по помехозащищенности цепей управления от внешних помех, в качестве материала панцирной оплетки используется медная луженая проволока. Оплетка из такой проволоки обладает достаточной механической и коррозионной стойкостью и позволяет освободиться от общего электрического экрана, накладываемого обычно поверх сердечника.

Таблица 3-26

Материал проволоки	Условное обозначение	Диаметр проволоки, мм	Плотность оплетки, %	Условия хранения и эксплуатации
Стальная оцинкованная проволока	П	0,3	65	Относительная влажность воздуха до 80%, температура до 40 °С
Стальная нержавеющая проволока	$П_н$	0,3	65	Относительная влажность воздуха до 98%, температура до 40 °С
Медная луженая проволока	$П_м$	0,3	65	Относительная влажность воздуха до 80%, температура до 40 °С

Основные данные о панцирных оплетках, применяемых в кабелях управления, приведены в табл. 3-26.

3-5. КОНСТРУИРОВАНИЕ КАБЕЛЕЙ УПРАВЛЕНИЯ СПЕЦИАЛЬНОГО ПРИМЕНЕНИЯ

А. КОНСТРУИРОВАНИЕ КАБЕЛЕЙ УПРАВЛЕНИЯ, ПРЕДНАЗНАЧЕННЫХ ДЛЯ РАБОТЫ ПРИ ВНУТРЕННЕМ ИЗБЫТОЧНОМ ДАВЛЕНИИ

Сочетание требования повышенной гибкости с необходимостью осуществления надежного герметичного уплотнения в разъемы определило, что для кабелей управления, предназначенных для эксплуатации при внутреннем избыточном давлении, наиболее целесообразным является применение в качестве материала оболочки резины. Это позволяет осуществлять надежную герметизацию ввода кабеля в герметичные разъемы и блоки путем широко распространенного метода привулканизации к наружной оболочке кабеля металлической конструкции (втулки) с последующим применением стандартных уплотнительных резиновых колец (рис. 3-19).

Опыт проектирования кабелей управления, предназначенных для работы при внутреннем избыточном давлении, показывает, что возможны два пути конструктивного решения защитной оболочки таких кабелей: 1) при давлении до 0,2—0,4 МПа (2—4 кгс/см²) и внутреннем диаметре оболочки (диаметре сердечника) до 12—15 мм наиболее целесообразным является применение однослойной оболочки из резины; 2) при давлении выше 0,4 МПа (4 кгс/см²), независимо от диаметра сердечника, единственным конструктивным решением, обеспечивающим надежную работу кабеля, является применение двухслойной армированной оболочки.

Основные теоретические соображения по конструированию кабелей с однослойными резиновыми оболочками, предназначенных для работы при внутреннем давлении, сводятся к следующему.

Материалы, обладающие упругой высокоэластичной деформацией (резины, некоторые пластмассы) имеют линейную зависимость предела прочности от удлинения ($\sigma = f(\varepsilon)$) лишь при весьма небольших начальных деформациях (рис. 3-23).

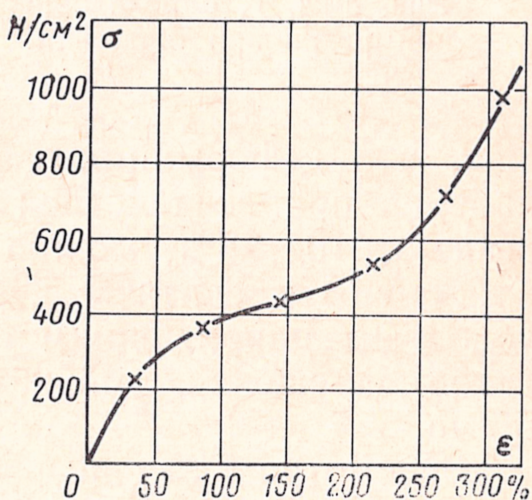


Рис. 3-23. Типичная зависимость $\sigma = f(\varepsilon)$ для резины.

В целом для таких материалов, несмотря на большую

обратимость деформаций, зависимость $\sigma=f(\varepsilon)$ нелинейна и обычно немонотонна. Следовательно, эти материалы, как не отвечающие известному положению Гука, нельзя охарактеризовать одним постоянным значением модуля продольной упругости E_σ, рассчитанного по условному напряжению σ.

Применяемый иногда «местный модуль» (модуль по хорде), как отношение σ/E_σ, не дает конструктивно значащей оценки материала.

Принимая во внимание условия эксплуатации кабелей, требования минимальных габаритов, предъявляемые к современным изделиям, а также ограниченные монтажные объемы, отводимые для прокладки кабелей, и допус-

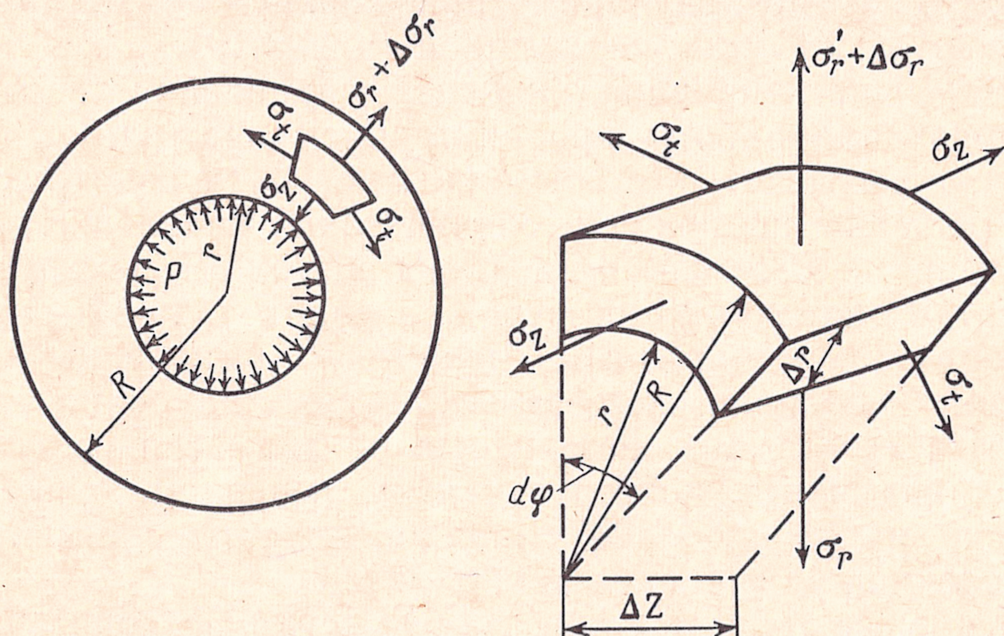


Рис. 3-24. К определению разрывной прочности однослойной резиновой оболочки.

кая, что деформации защитных резиновых оболочек кабелей при воздействии внутреннего давления не превышают 10—25%, можно с достаточной степенью приближенности считать, что в этих пределах резина по условным напряжениям отвечает закону Гука. Приняв такое допущение, можно воспользоваться уравнением Ляме.

Рассмотрим случай, когда толстостенный цилиндр подвержен действию внутреннего избыточного давления P (рис. 3-24).

Опуская вывод напряжений в толстостенном цилиндре методом Ляме [Л. 28], главные напряжения в опасной точке можно выразить:

$$\sigma_1=\sigma_t=P\,(R^2+r)/(R^2-r); \qquad (3\text{-}30)$$

$\sigma_2=\sigma_z=0$ (осевое напряжение для полого цилиндра) (3-31)

$\sigma_3=\sigma_r=-P.$

Подставляя полученные выражения в формулу теории прочности, получим необходимую расчетную формулу. Вопрос о выборе той или иной теории прочности для расчета зависит от свойств материала. Для пластических материалов, у которых допустимое напряжение при сжатии приблизительно равно допустимому напряжению при растяжении $\sigma_{сж}=\sigma_р$, рекомендуется применение третьей или энергетической теории прочности, как наиболее совпадающей с экспериментом. Последняя ближе оценивает действительную картину, но имеет более сложное аналитическое выражение. Энергетическая теория прочности принимает за критерий прочности потенциальную энергию деформации, причем вводит в расчет лишь часть энергии, затрачиваемой на изменение формы напряженного тела, и имеет следующее аналитическое выражение:

$$\sigma_р\geqslant\sqrt{1/2\,[(\sigma_1-\sigma_2)^2+(\sigma_1-\sigma_3)^2+(\sigma_2-\sigma_3)^2]}, \qquad (3\text{-}33)$$

где $\sigma_р$ — напряжение при разрыве; σ_1, σ_2 и σ_3 — главные напряжения.

Для полого цилиндра (в нашем случае резиновая оболочка с внутренним радиусом r и внешним радиусом R) $\sigma_2=0$ (3-33) примет вид:

$$\sigma_1^2+\sigma_3+(\sigma_1-\sigma_3)^2\leqslant 2\sigma_р^2. \qquad (3\text{-}34)$$

Подставив (3-30) и (3-32) в (3-34), получим:

$$\left(\frac{R^2+r^2}{R^2-r^2}\right)^2+\frac{R^2+r^2}{R^2-r^2}=\frac{\sigma_р^2-P}{P^2}; \qquad (3\text{-}35)$$

обозначив

$$\frac{R^2+r^2}{R^2-r^2}=a,\quad \frac{\sigma_р^2-P}{P^2}=b/4,$$

получим $a^2+a-в/4=0$; решив и взяв только положительный корень, получим:

$$\frac{R^2}{r^2}=\frac{\sqrt{4\sigma_р-3P^2}+P}{\sqrt{4\sigma_р-3P^2}-P}$$

или

$$\sigma_р=P\sqrt{\frac{3R^4+r^4}{(R^2-r^2)^2}}\leqslant[\sigma_р], \qquad (3\text{-}36)$$

где $[\sigma_р]$ — допустимое напряжение при разрыве.

Мгновенное разрывное внутреннее давление P для кабеля с одинаковой толщиной оболочки Δ, но с различным внутренним диаметром (диаметром сердечника) будет различным.

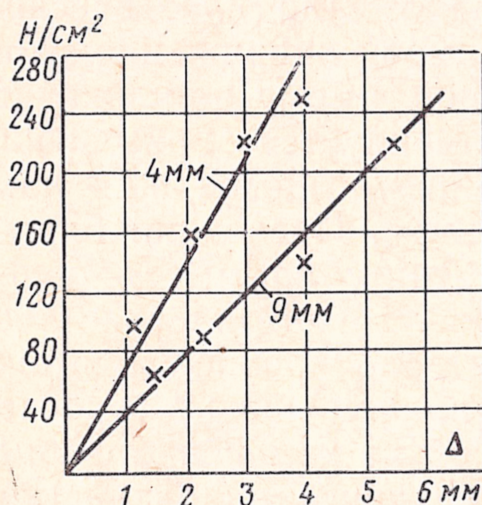


Рис. 3-25. Зависимость мгновенного разрывного давления от толщины оболочки.

Зависимость мгновенного разрывного давления от толщины оболочки из резины марки ШНН-45 для кабелей с диаметром сердечника 4,0 и 9,0 мм приведена на рис. 3-25.

Разность значений мгновенного разрывного давления для кабелей с одинаковой толщиной оболочки, но с различным диаметром сердечника увеличивается с увеличением толщины оболочки. Так, если при толщине оболочки $\Delta=2$ мм разность в разрывных давлениях составляет 0,6 МПа (6 кгс/см²), то при толщине 4 мм разность составляет 1,2 МПа (12 кгс/см²) и т. д.

Сопоставление экспериментальных данных с данными, полученными расчетным путем по формуле (3-36) показывает большое расхождение.

Так, для кабеля с диаметром сердечника 9,7 мм и оболочкой толщиной 2,0 мм из резины марки ШНН-45, имеющей предел прочности при растяжении $\sigma_р=9,5\div10,5$ МПа, экспериментальное значение мгновенной разрывной прочности $P_р=0,9\div1,0$ МПа, а рассчитанное по (3-36)

$$P_р=\frac{\sigma_р}{\sqrt{(3R^4+r^4)/(R^2-r^2)^2}}=2,24\ \text{МПа}.$$

Значительное расхождение результатов, полученных из опыта и расчетным путем, объясняется не столько недопустимостью наших предположений при выводе расчетной формулы, сколько различием в напряженных состояниях и геометрии при одноосном растяжении до разрыва (на разрывной машине) с разрушением цилиндрической оболочки при внутреннем избыточном давлении (двумерное напряженное состояние).

Несомненно, что на прочность существенно влияют скорость приложения давления, а также технологический режим изготовления резиновой оболочки.

В табл. 3-27 приведены результаты испытаний образцов оболочки кабеля, вырубленных в виде стандартных лопаток в осевом и перпендикулярном направлениях относительно оси кабеля.

Таблица 3-27

Образцы, взятые вдоль оси кабеля		Образцы, взятые перпендикулярно оси кабеля	
Предел прочности при разрыве, МПа	Относительное удлинение, %	Предел прочности при разрыве, МПа	Относительное удлинение, %
9,03	370	5,08	210
9,52	350	5,95	180
9,25	325	5,50	225
8,34	380	5,94	215
8,45	400	5,48	220
8,55	385	5,52	195
9,35	353	5,40	210
9,71	360	5,27	200
9,15	320	5,37	205
8,98	340	5,18	217

Приведенные в табл. 3-27 результаты в какой-то степени подтверждают предположения, изложенные выше.

Следовательно, основная трудность при расчете неармированной оболочки из резины состоит в необходимости установить сочетание распределения напряжений в конструкции с критерием разрушения. Это необходимо для того, чтобы оценить прочность конструкции расчетным методом.

Определение предела прочности конструкции (критерия разрушения) является достаточно трудной задачей, так как в общем он зависит от многоосного напряженного состояния. И хотя экспериментами доказано,

как установить соответствие между одноосевыми и многоосевыми напряженными состояниями для металлов, например используя критерий октаэдрического напряжения, для вязкоупругих материалов эта зависимость еще недостаточно установлена.

В табл. 3-28 приведены результаты испытаний на разрыв и расчитанные значения разрывной прочности оболочки для кабелей с оболочкой из резин марок ШБМ-45У и ШНН-45, имеющих различные конструктивные параметры.

Приведенные соображения относятся к оценке прочности оболочки лишь при динамическом («мгновенном») воздействии внутреннего давления.

К кабелям управления предъявляется требование сохранения целостности оболочки при продолжительном (статическом) воздействии внутреннего давления.

В силу того, что поведение вязкоупругих тел зависит от времени или скорости нагружения, допустимо предположить, что разрушение оболочки при статическом нагружении будет определяться «историей» скорости деформации, усталостными характеристиками резины.

Для оценки прочности конструкции при длительном воздействии внутреннего избыточного давления и установления коэффициента снижения разрывной прочности при статическом нагружении по сравнению с мгновенной разрывной прочностью используется широко распространенный в электроизоляционной и кабельной технике метод «кривых жизни».

На рис. 3-26 приведены кривые жизни, снятые на образцах кабеля с диаметром сердечника 8 мм с оболочками из резины ШБМ-45У и ШНН-45 толщиной 2,0 мм.

Таблица 3-28

Оболочка из резины марки ШБМ-45У				Оболочка из резины марки ШНН-45			
Диаметр сердечника, мм	Толщина оболочки, мм	Разрывное давление $P_р$, МПа	Расчетная разрывная прочность $\sigma_р$, МПа	Диаметр сердечника, мм	Толщина оболочки, мм	Разрывное давление $P_р$, МПа	Расчетная разрывная прочность $\sigma_р$, МПа
3,5	2,3	1,58	3,3	4,0	2,3	1,58	3,52
4,0	2,3	1,15	3,1	4,0	1,2	1,12	3,31
5,0	1,3	1,05	3,3	8,8	4,2	1,36	3,23
7,0	2,3	1,25	3,4	9,0	1,7	0,85	3,27
9,7	2,0	0,87	3,0				
			Средняя 3,25				Средняя 3,35

Анализ кривых жизни наглядно показывает, что мгновенная разрывная прочность не может служить критерием оценки работоспособности кабеля при длительном воздействии внутреннего избыточного давления.

Единственным критерием в данном случае является угол наклона кривой жизни в логарифмическом масштабе, который определяет коэффициент снижения разрывной прочности при статическом нагружении $K_{ст}$.

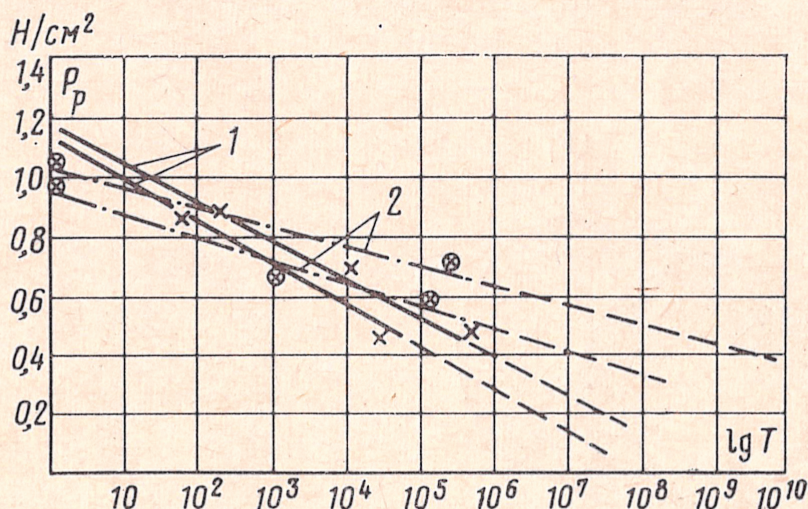


Рис. 3-26. Зависимость разрывного давления от времени выдержки под давлением (кривые жизни).

1 — оболочка из резины марки ШБМ-45У; *2* — оболочка из резины марки ШНН-45.

Мгновенная разрывная прочность образцов кабеля с оболочкой из резины марки ШБМ-45У составляет в среднем 1,31 МПа, а разрывная прочность после выдержки этих образцов под давлением в течение 2 суток составляет всего 0,28 МПа, т. е. $K_{стШБМ\text{-}45У} = \sigma_{мгн}/\sigma_{ст} = 4,7$.

Для образцов кабелей с оболочкой из резины ШНН-45 при тех же условиях имеем: $\sigma_{мгн} = 1,26$ МПа, $\sigma_{ст} = 0,35$ МПа, т. е. $K_{стШНН\text{-}45} = 3,6$.

Приведенные соображения дают возможность ориентировочно просчитать толщины однослойных резиновых оболочек, обеспечивающих работоспособность кабелей при внутреннем давлении.

Поскольку условия работы двухслойной армированной защитной оболочки кабелей, работающих при внутреннем избыточном давлении, принципиально мало отличаются от условий работы напорных рукавов, то при

конструировании их с достаточной степенью приближенности можно пользоваться основными положениями теории расчета напорных рукавов [Л. 27].

Рассмотрим некоторые вопросы, связанные с расчетом и поведением армированной резиновой оболочки при внутреннем избыточном давлении.

Для упрощения расчетов принимаем следующие допущения: напряжения, возникающие в оболочке при внутреннем давлении, воспринимаются армирующим элементом; наружная резиновая оболочка в расчет не принимается.

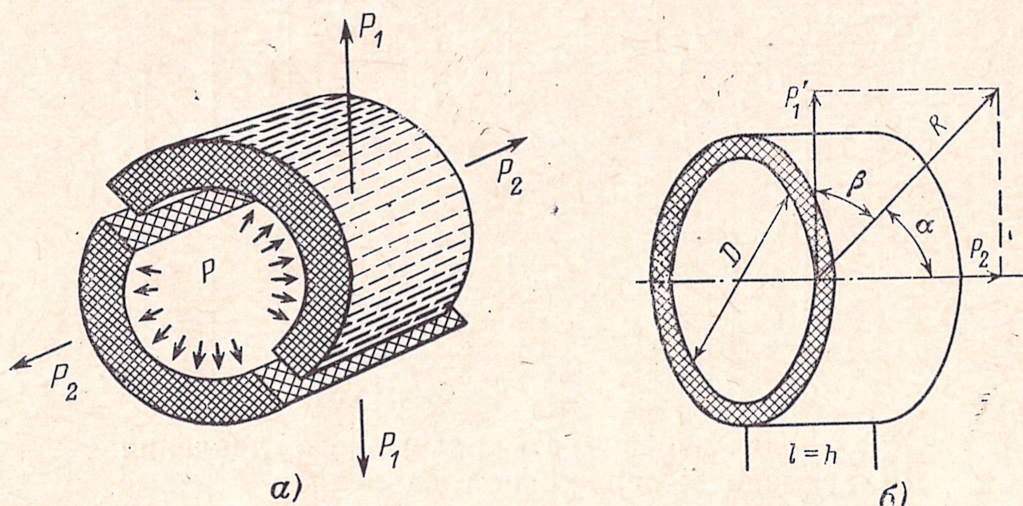


Рис. 3-27. К определению оптимального шага армирующей оплетки.

В оболочке под действием внутреннего давления возникают растягивающие усилия (рис. 3-27, *а, б*), которые стремятся разорвать оболочку в осевом и радиальном направлениях. При этом для осевого сечения разрывающее усилие будет равняться произведению площади проекции поверхности, к которой приложено давление, на давление (рис. 3-27, *а*).

Проекция с поверхности давления на плоскость, параллельную оси оболочки, равна Dl, когда разрывающее усилие $P_1 = DlP$.

Разрывающее усилие, действующее на одно сечение: $P'_1 = DlP/2$.

Разрывающее усилие, действующее на сечение, перпендикулярное оси оболочки, равно:

$$P_2 = \frac{\pi D^2}{4} P. \qquad (3\text{-}37)$$

Равнодействующая этих усилий R направлена под углом α к оси оболочки,

Для нахождения угла α рассмотрим элемент внутренней оболочки длиной l, равной шагу оплетки h армирующего элемента. Шаг оплетки равен $h=\pi D/\mathrm{tg}\,\alpha$, тогда $P'_1=D^2\pi P/(2\mathrm{tg}\,\alpha)$; из рис. 3-27 $\mathrm{tg}\,\alpha=P'_1/P_2$ или, подставив в предыдущую формулу значения P'_1 и P_2, получим: $\mathrm{tg}\,\alpha=2/\mathrm{tg}\,\alpha$, отсюда $\mathrm{tg}^2\,\alpha=2$; $\alpha=54°44'$.

Таким образом, полученный угол направления равнодействующей усилий, возникающих в армированной оболочке, является оптимальным углом для наложения армирующего элемента в виде оплетки: $\beta=35°16'$.

Оболочки, армированные оплеткой, наложенной под углом, отличающимся от оптимального, при воздействии внутреннего давления изменяются как по диаметру, так и по длине. Пасмы оплетки стремятся при этом занять положение, равное оптимальному углу $\beta=35°16'$

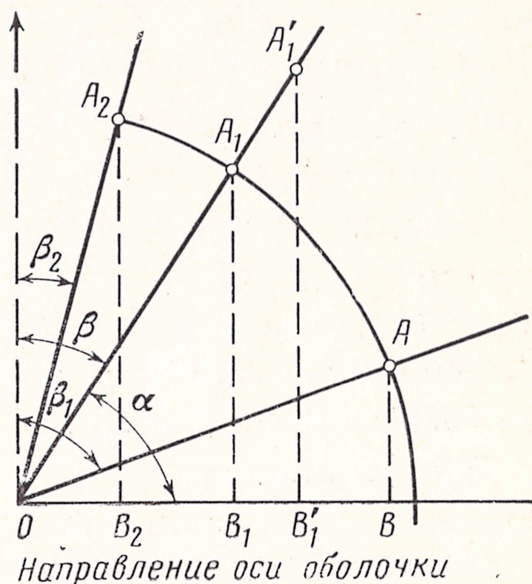


Рис. 3-28. К расчету параметров кабеля для случая, когда угол армирующей оплетки отличается от оптимального.

Рассмотрим случай, когда угол оплетки отличается от оптимального: $\beta\neq 35°16'$ (рис. 3-28).

Здесь имеем: β — оптимальный угол оплетки; $OB=h$ — линейный элемент оболочки, равный одному первоначальному шагу оплетки (угол оплетки β_1 больше оптимального); $OB_2=h_2$ — линейный элемент оболочки, равный одному первоначальному шагу оплетки (угол оплетки β_2 меньше оптимального); $OB_1=h_1$ — те же линейные элементы в момент разрыва оболочки (без учета удлинения нитей армирующей оплетки). $OB'_1=h_1$ — те же линейные элементы в момент разрыва оболочки (с учетом удлинения нитей армирующей оплетки); $AB=\pi d$ — длина окружности оболочки с наружным диаметром d при отсутствии внутреннего давления (для случая, когда угол оплетки больше оптимального); $A_2B_2=\pi d_2$ — то же, но с наружным диаметром d_2 для случая, когда угол оплетки меньше оптимального; $A_1B_1=\pi d'$ — длина окружности оболочки в момент разрыва (без учета удлинения нитей армирующей оболоч-

ки); $A'_1B'_1 = \pi d'$ — то же, но с учетом удлинения нитей; $OA = OA_1 = OA_2 = l$ — длина пасмы оплетки, соответствующая одному шагу; $OA'_1 = l(1+\varepsilon)$ — то же при разрыве с учетом удлинения.

При приложении внутреннего давления в оболочке с оплеткой, наложенной с углом больше оптимального, произойдет перемещение пасмы OA, которая будет стремиться занять направление равнодействующей разрывных усилий (OA_1). В результате этого увеличится диаметр оболочки ($A_1B_1 > AB$) и уменьшится ее длина ($OB_1 < OB$). Из треугольников OAB и $OA'_1B'_1$ имеем:

$AB = \pi d = l \cos \beta_1$;

$A'_1B'_1 = \pi d'_1 = l(1+\varepsilon) \cos \beta$.

Отсюда диаметр оболочки в момент разрыва равен:

$d'_1 = d(1+\varepsilon) \cos \beta / \cos \beta_1$.

Из этих же треугольников имеем:

$h = OB = l \sin \beta_1$;

$h'_1 = OB'_1 = l(1+\varepsilon) \sin \beta / \sin \beta_1$.

Размер шага в момент разрыва равен:

$h'_1 = h(1+\varepsilon) \sin \beta / \sin \beta_1$.

Таким образом, зная конструктивные параметры оболочки и армирующей оплетки в первоначальный момент, а также удлинение пасмы оплетки в момент разрыва, используя выведенные соотношения, можно определить изменение диаметра и длины оболочки при разрыве.

Аналогичные соотношения нетрудно получить и для случая, когда армирующая оболочка наложена с углом меньше оптимального.

Поведение защитной резиновой оболочки с армирующим элементом в виде оплетки, выполненной с различными углами, при воздействии внутреннего давления иллюстрируется на рис. 3-29.

Из приведенных выше рассуждений следует: 1) если угол оплетки больше оптимального, то под воздействием внутреннего давления происходит увеличение диаметра оболочки и уменьшение линейной длины защитной оболочки (образцы *4* и *5* на рис. 3-29); 2) если же угол оплетки меньше оптимального, то под действием внутреннего давления происходит увеличение длины оболочки (образцы *2* и *3* на рис. 3-29); 3) при оптимальном угле оплетки защитная оболочка под действием внутреннего давления не изменяет своих размеров (образец *1* рис. 3-29).

Опыт конструирования кабелей управления, предназначенных для работы при внутреннем давлении, показывает, что изменение длины защитной оболочки вследствие отличия углов оплетки от оптимальных под воздействием внутреннего давления приводит, как правило, либо к вырыву запаянных токопроводящих жил из разъема, либо к разгерметизации места уплотнения оболочки в разъем.

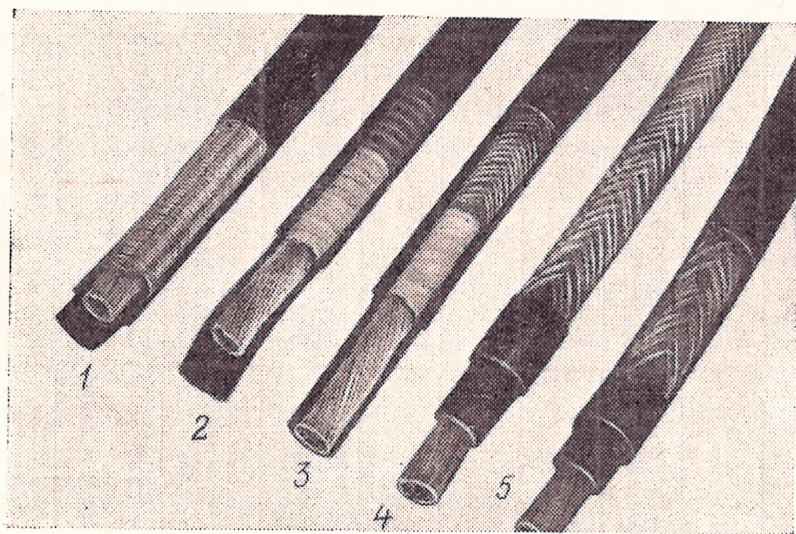


Рис. 3-29. Деформации защитных оболочек с армирующей оплеткой, выполненной с различными углами оплетки.

Во избежание указанных явлений для всех кабелей с армированной резиновой оболочкой, работающих при внутреннем давлении, угол оплетки принят равным или близким к оптимальному.

Вернемся к рис. 3-28 и, воспользовавшись правилом сложения сил, выведем формулу для расчета резиновых оболочек с армирующим элементом в виде оплетки

$$R=\sqrt{P_1'^2+p_2^2},$$

подставляя значения $P_1'^2$ и P_2^2, получим:

$$R=1{,}36D^2P,$$

представляя $R=ink_z$, где i — число армирующих элементов; n — число пасм в одном армирующем элементе (оплетке); k_z — прочность одной пасмы, Па, получим:

$$P=ink_z/1{,}36D^2, \tag{3-38}$$

где P — разрывное давление, Па; D — средний диаметр кабеля по оболочке с армирующим элементом при разрыве, определенный по формуле

$$D = d \sin 35°16' / \sin \beta. \qquad (3\text{-}39)$$

В (3-39) β — угол оплетки; d — средний диаметр оболочки с армирующим элементом до разрыва, см.

В отличие от однослойных оболочек разрывная прочность армированных оболочек, в основном, зависит от конструкции упрочняющего элемента (оплетки). Толщина внутренней и наружной резиновых оболочек выбирается или по технологическим соображениям (внутренняя оболочка) или по соображениям достаточной механической прочности (наружная оболочка).

Таблица 3-29

Сечение жилы, мм²	Число жил	Толщина внутренней оболочки, мм	Конструктивные данные армирующей оплетки					Разрывная прочность пасмы, МПа	Толщина наружной оболочки, мм	Номинальный диаметр по наружной оболочке, мм	Разрывное давление, МПа	
			Метрический номер нитей	Плотность оплетки, %	Угол оплетки β	Число пасм	Число нитей в пасме				Расчетное	Экспериментальное
0,2	3	1,2	34	90	35	16	5	0,44	1,4	8,5	17,3	16,5
0,2	19	1,2	34	95	35	24	6	0,51	1,5	12,1	11,4	9,1
0,2	37	1,5	34	95	35	24	8	0,86	1,5	15,3	10,2	9,1
0,1	61	1,8	34	95	35	24	15	1,88	2,0	27,5	5,85	5,1

В табл. 3-29 приведены конструктивные данные некоторых марко-размеров кабелей марки КДФР и разрывная прочность их оболочек, полученная расчетным и экспериментальным путями.

Б. КОНСТРУИРОВАНИЕ «РАСТЯГИВАЮЩИХСЯ» КАБЕЛЕЙ УПРАВЛЕНИЯ

В самое последнее время к кабелям управления все чаще предъявляются требования по сохранению работоспособности при растяжении на определенную длину (2—40%). Необходимость в подобного рода «растягивающихся» кабелях возникла в ряде отраслей техники в связи с особенностями конструкций новейшей аппаратуры (телескопические устройства, аппаратура с расширяющимся в процессе эксплуатации корпусом, по поверхности которого фиксированно проложен кабель, различ-

ные парашютные устройства и т. п.). Применение растягивающихся кабелей, кроме того, позволяет проводить профилактический осмотр или ремонт отдельных блоков аппаратуры без применения расстыковывающих разъемов, что снижает массу аппаратуры. И, наконец, такие кабели найдут, по-видимому, широкое применение в аппаратуре, подверженной значительным вибрационным и ударным нагрузкам.

Основными параметрами, определяющими специфику кабелей, являются: 1) максимальное относительное удлинение кабеля; 2) максимальное усилие, необходимое для растяжения кабеля на заданную длину; 3) максимальное количество циклов растяжения и сжатия, допустимое для данного кабеля на протяжении установленного срока службы.

Основные трудности в создании растягивающихся кабелей управления заключались в том, что практически необходимо было найти совершенно новый подход к их конструированию. Дело в том, что традиционные конструкции кабелей управления, основанные на повивной скрутке изолированных жил, не допускают даже незначительного растяжения. Это объясняется тем, что медная проволока обладает малым удлинением, при растяжении соответствующим пределу упругих деформаций (не более 1,5%).

При периодических растяжениях и сжатиях кабеля, в медных жилах, растянутых за предел текучести, образуются значительные остаточные деформации, которые приводят к потере геометрической устойчивости жилы и образованию петель синусоидальной формы. Далее происходят обрывы отдельных проволок в жиле в местах наименьшего радиуса кривизны петли, носящие характер усталостного излома. Образование петель и особенно обрывы отдельных проволок способствуют прокалыванию изоляции и выходу кабеля из строя. Поэтому растяжение таких кабелей более чем на 1% недопустимо.

Конструирование растягивающихся кабелей управления может производиться по двум направлениям. В первом случае кабель традиционной конструкции подвергается специальной обработке и образует спираль, сходную по внешнему виду со шнурами для телефонных аппаратов или электробритв.

В принципе это направление для кабелей управления можно считать мало перспективным, так как габариты

полученной спирали настолько велики, что в большинстве случаев исключают возможность использования этих кабелей в аппаратуре. Кроме того, само получение спирали из таких кабелей — весьма сложный и трудоемкий процесс, осуществимый пока только на одном материале — поливинилхлоридном пластикате. В связи с этим более перспективным выглядит второе направление конструирования растягивающихся кабелей управления — создание спирали из группы изолированных жил, наложенных на гибкий эластичный сердечник (рис. 3-30).

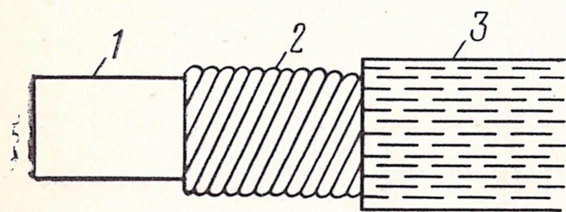


Рис. 3-30. Схема растягивающегося кабеля управления.

1 — эластичный сердечник; *2* — изолированные жилы; *3* — эластичная защитная оболочка.

Поскольку растягивающиеся сердечники и оболочки таких кабелей выполняются из резин разных типов, то область их применения может быть достаточно широкой до 65—250 °С.

Основной проблемой при создании этих кабелей является разработка новых технологических процессов и оборудования для наложения спирали из изолированных жил на эластичный сердечник.

3-6. ОСНОВНЫЕ ПРАВИЛА ЭКСПЛУАТАЦИИ КАБЕЛЕЙ УПРАВЛЕНИЯ

Все возможные условия эксплуатации кабелей управления принципиально можно свести к двум категориям — эксплуатации в неподвижном (фиксированном) и подвижном состояниях. Кабели, предназначенные для фиксированной прокладки, естественно, находятся в более легких условиях, чем кабели, предназначенные для подвижной эксплуатации. Правила эксплуатации этих кабелей заключаются в строгом соблюдении требований технических условий на кабели в части допустимых радиусов изгибов и предельных значений климатических, механических и других эксплуатационных воздействий.

Значительно сложнее обстоит дело с кабелями, предназначенными для подвижной эксплуатации. Как показали исследования геометрической устойчивости кабелей управления, описанные в § 3-1, основной причиной образования «спиралей» и «фонарей» является нарушение правил эксплуатации этих кабелей при подвижной экс-

плуатации. В связи с этим целесообразно рассмотреть этот вопрос более подробно.

Под подвижной эксплуатацией кабелей управления понимается периодическая стыковка и расстыковка их с блоками аппаратуры. При этом свободные концы ка-

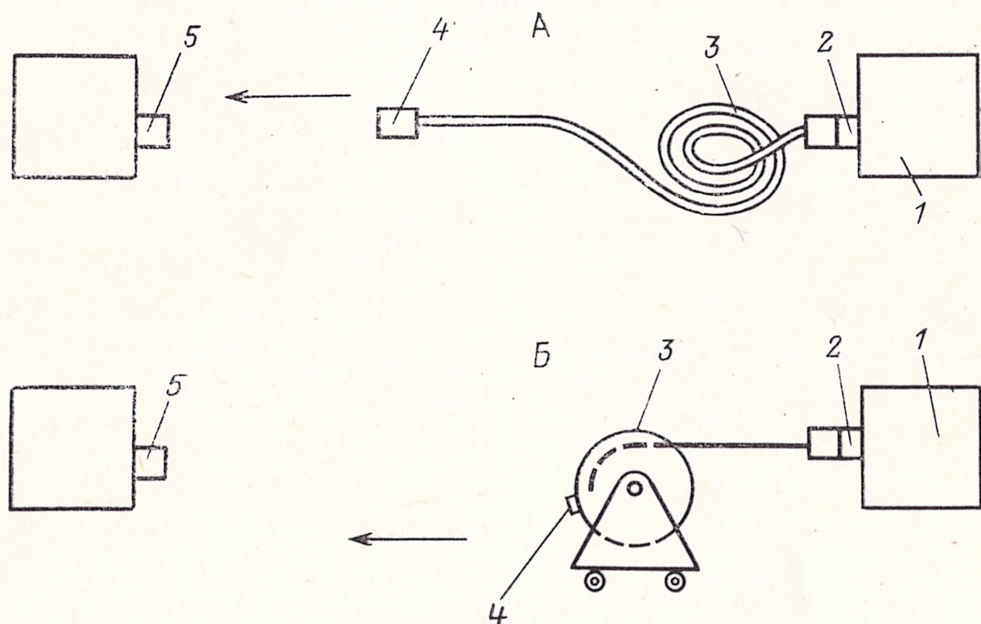


Рис. 3-31. Способы подвижной эксплуатации кабелей управления.

А — укладка в бухту; *Б* — намотка на барабан; *1* — блок аппаратуры; *2* — неподвижный разъем; *3* — кабель; *4* — подвижный разъем; *5* — блок аппаратуры.

белей (или кабельных стволов) или укладываются (развертываются) в бухту, или наматываются (сматываются) на барабан (рис. 3-31).

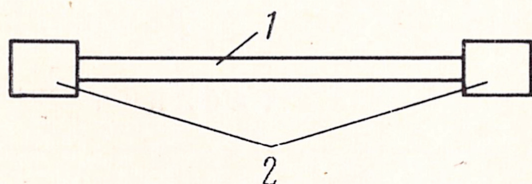


Рис. 3-32. Схема одиночного кабеля.

1 — кабель; *2* — разъемы.

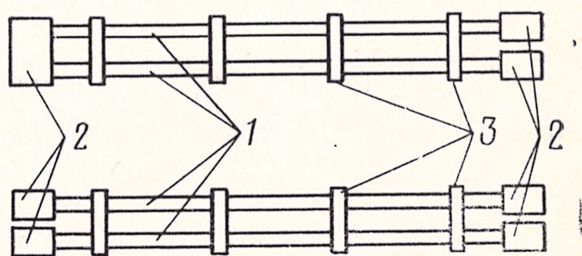


Рис. 3-33. Схема кабельного ствола.

1 — кабели; *2* — разъемы; *3* — скрепляющие ленты.

При разработке правил укладки кабелей управления в бухты или намотки их на барабаны необходимо иметь в виду следующее. В большинстве случаев при эксплуатации стыковка и расстыковка осуществляются с помощью одного из концов кабеля (кабельного ствола).

Другой конец кабеля или кабельного ствола при этом состыкован постоянно. Поэтому как для одиночного кабеля (рис. 3-32), так и для кабельного ствола, состоящего из нескольких кабелей (рис. 3-33) в соответствии с монтажной схемой аппаратуры, всегда можно определить и замаркировать неподвижные и подвижные разъемы.

Исследования, проведенные авторами, показали весьма тесную связь между геометрической устойчивостью кабелей и способом запайки сердечников к подвижным разъемам.

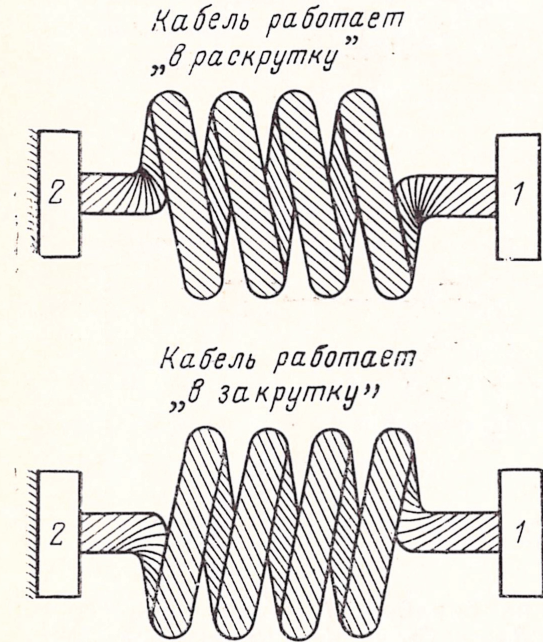


Рис. 3-34. Схемы различных способов запайки кабелей управления в разъемы.

1 — подвижный разъем; *2* — неподвижный разъем.

При перемещении подвижного разъема возможно два вида деформации скрученного сердечника (рис. 3-34). В первом случае, когда линейная нагрузка совпадает с направлением скрутки сердечника, кабель работает «враскрутку», во втором — «взакрутку». Испытания различных конструкций кабелей показали, что их геометрическая устойчивость резко повышается, если направление скрутки сердечника совпадает с направлением перемещения устройства, имитирующего подвижный разъем (табл. 3-30).

Именно это обстоятельство и является решающим при разработке правил эксплуатации кабелей управления.

Таблица 3-30

Тип и конструкция кабеля	Коэффициент скрутки наружного повива	Число циклов до появления „спирали" при разных условиях испытаний	
		Кабель работает враскрутку	Кабель работает взакрутку
I	25	600	50—100
II	20	1500	200—300
III	18	3700	600—800
IV	16	4500	1200—1500
V	14	Свыше 5000	2500—3000

А. ПРАВИЛА УКЛАДКИ КАБЕЛЬНОГО СТВОЛА В БУХТУ

Укладка кабельного ствола в бухту непосредственно от неподвижного разъема должна осуществляться по схеме, показанной на рис. 3-35.

Последовательность операций при этом должна быть следующей: 1) подвижный разъем расстыковывают; 2) кабельный ствол у неподвижного разъема изгибают на диаметр не менее 10 наружных диаметров кабеля и полученному кругу (бухте) придают вращение против часовой стрелки по кругу относительно неподвижного разъема; 3) перемещение подвижного разъема осуществляют постепенно по мере укладки витков кабельного ствола в бухту у неподвижного разъема; 4) разматывание кабельного ствола из сложенной бухты для подключения к аппаратуре производят в обратном порядке, т. е. подвижный разъем перемещают к аппаратуре постепенным снятием витков сложенной бухты у неподвижного разъема. Если кабель не имеет степени свободы вокруг собственной оси, то при снятии витков (или при укладке в бухту) кабель, кроме деформаций изгиба, закручивается. Поэтому как при укладке, так и при разматывании бухты кабельному стволу необходимо дать возможность свободно перемещаться (закручиваться-раскручиваться) вокруг собственной оси.

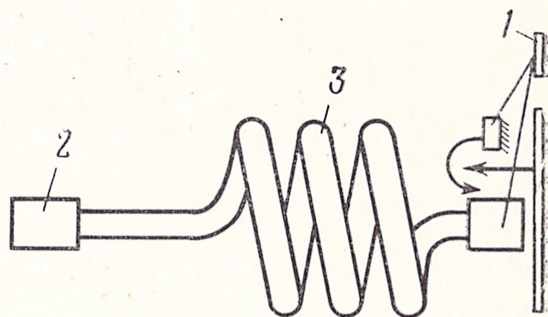


Рис. 3-35. Схема укладки кабельного ствола в бухту (начало укладки у неподвижного разъема).

1 — неподвижный разъем; *2* — подвижный разъем; *3* — кабельный ствол.

При использовании данного метода укладка бухты может производиться на специально изготовленный усеченный конус (например, деревянный). Меньший диаметр окружности усеченного конуса должен быть равен 10 диаметрам кабеля. Порядок укладки кабельного ствола на усеченный конус остается прежним. Это приспособление только значительно упрощает процесс укладки и разматывания бухты. Усеченный конус может находиться как в горизонтальной, так и вертикальной плоскостях. Подвижный разъем должен быть прикреплен к конусу. Схема укладки кабельного ствола на конус приведена на рис. 3-36.

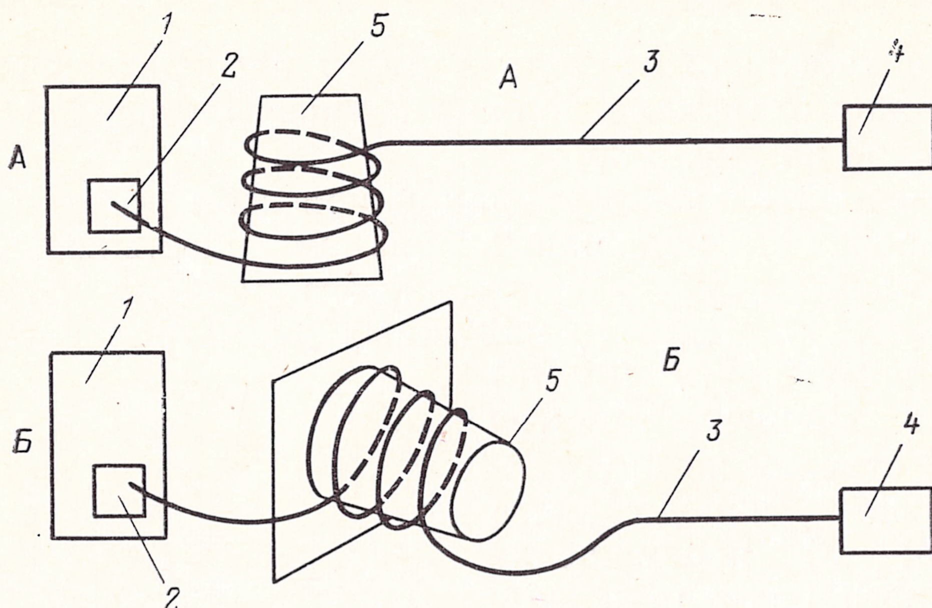


Рис. 3-36. Схемы укладки кабельных стволов с помощью усеченных конусов.

А — вертикальное расположение конуса; *Б* — горизонтальное расположение конуса; *1* — блок аппаратуры; *2* — неподвижный разъем; *3* — кабельный ствол; *4* — подвижный разъем; *5* — усеченный конус.

Укладку кабельного ствола в бухту непосредственно от подвижного разъема осуществляют по схеме, приведенной на рис. 3-37. В этом случае укладку кабельного ствола в бухту производят следующим образом: 1) расстыковывают подвижный разъем; 2) кабельный ствол у подвижного разъема изгибают на диаметр не менее 10 диаметров кабеля и придают полученному кругу (бухте) вращение по часовой стрелке так, чтобы подвижный

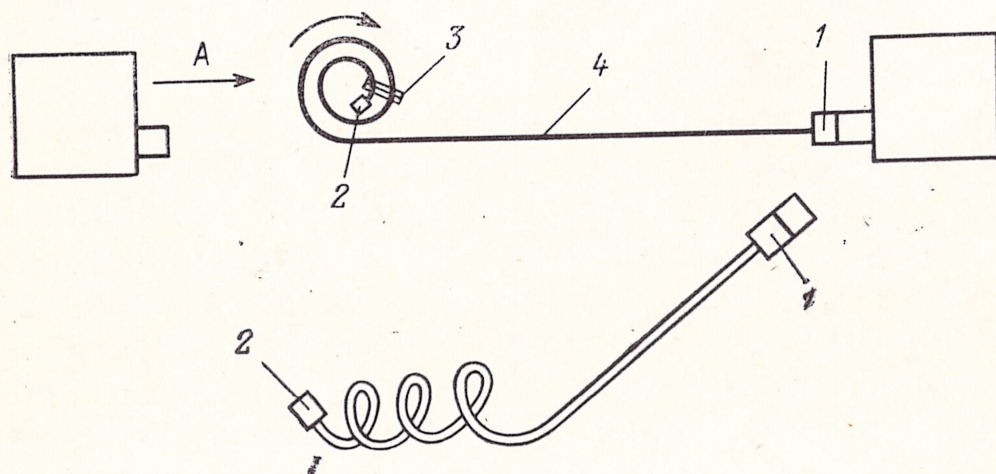


Рис. 3-37. Схема укладки кабельного ствола в бухту (начало укладки у подвижного разъема).

1 — неподвижный разъем; *2* — подвижный разъем; *3* — бечевка или хомутик; *4* — кабельный ствол.

разъем оставался с левой стороны плоскости бухты; для удобства сматывания подвижный разъем может быть привязан к первому бечевкой или прикреплен специальным хомутиком; 3) прямолинейный участок кабельного ствола должен набегать на бухту снизу; 4) вращение бухты при ее укладке против часовой стрелки запрещено; 5) смотанная бухта должна быть уложена у неподвижного разъема так, чтобы подвижный разъем находился сверху плоскости бухты; по направлению свертывания бухта должна быть уложена на правую сторону и соответствующим образом закреплена с целью исключения разматывания; 6) разматывание кабельного ствола из сложенной бухты для подключения к аппаратуре осуществляют в обратном порядке путем раскатывания бухты.

Б. ПРАВИЛА НАМОТКИ КАБЕЛЬНОГО СТВОЛА НА БАРАБАН

Намотку кабельного ствола на барабан производят непосредственно от подвижного разъема по схеме, показанной на рис. 3-38. При этом должны быть соблюдены

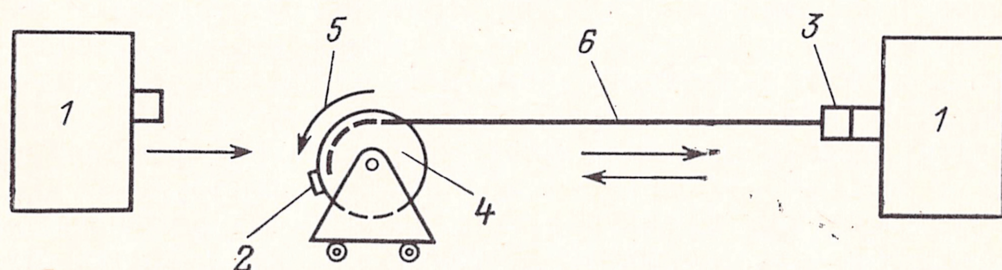


Рис. 3-38. Схема намотки кабельного ствола на барабан.

1 — блок аппаратуры; *2* — подвижный разъем; *3* — неподвижный разъем; *4* — правая щека барабана; *5* — направление вращения барабана; *6* — кабельный ствол; ← — движение тележки при сматывании кабеля; → — движение тележки при разматывании кабеля.

следующие правила: 1) подвижный разъем пропускается сверху животика барабана и закрепляется у его правой

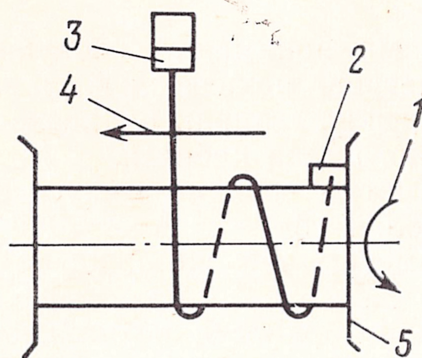


Рис. 3-39. Схема направления укладки кабельного ствола на барабан.

1 — направление вращения барабана; *2* — подвижный разъем; *3* — неподвижный разъем; *4* — направление укладки кабельного ствола; *5* — правая щека барабана.

щеки; 2) направление укладки кабельного ствола на барабане должно соответствовать схеме, показанной на рис. 3-39; 3) барабан при намотке должен одновременно вращаться и перемещаться в направлении к неподвижному разъему; 4) при хранении тележка должна быть закреплена у неподвижного разъема для исключения ее перемещения; 5) вращение барабана по часовой стрелке и закрепление подвижного разъема у левой щеки барабана запрещены; 6) разматывание кабельного ствола с барабана осуществляется в обратном порядке.

Глава четвертая

ОСНОВНАЯ НОМЕНКЛАТУРА И ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КОНТРОЛЬНЫХ КАБЕЛЕЙ

4-1. ОСНОВНЫЕ КОНСТРУКТИВНЫЕ ДАННЫЕ КОНТРОЛЬНЫХ КАБЕЛЕЙ

Наиболее существенными для потребителей контрольных кабелей конструктивными характеристиками являются число и сечение токопроводящих жил, наружный диаметр и масса кабеля; однако для сравнительного анализа кабелей различных марок этих данных недостаточно. Весьма полезной может оказаться информация о материалах и толщинах изоляции и оболочки, о конструкциях брони и наружных покровов. Сравнение этих данных для различных марок контрольных кабелей позволяет не только оценить возможности конструкции с точки зрения условий эксплуатации, но и выделить наиболее перспективные конструкции, определить общие для всех кабелей или отдельных групп «узкие места» конструкций, что может оказаться весьма полезным при конструировании новых марок контрольных кабелей.

Основные конструктивные данные контрольных кабелей, серийно выпускаемых в настоящее время, приведены в табл. 4-1—4-15.

4-2. ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Под техническими характеристиками понимают совокупность электрических и механических параметров, показателей, характеризующих стойкость конструкции к эксплуатационным воздействиям, и показателей надежности для каждого типа кабелей.

Основные электрические параметры серийно выпускаемых контрольных кабелей приведены в табл. 4-16.

Основные механические параметры тех же кабелей приведены в табл. 4-17.

Параметры, характеризующие надежность и стойкость кабелей к эксплуатационным воздействиям, приведены в табл. 4-18.

Таблица 4-1

Изолированные жилы			Толщина оболочки, мм		Наружный диаметр, мм				Расчетная масса, кг/км			
Сечение, мм²	Число	Толщина изоляции, мм	КРСГ, КРСБГ, КРСБ	КРСК	КРСГ	КРСБГ	КРСБ	КРСК	КРСГ	КРСБГ	КРСБ	КРСК
1,0	4	1,0	0,95	—	10,0	15,2	18,2	—	423	713	849	—
	5		0,95	—	10,9	16,1	19,1	—	481	790	934	—
	7		0,95	—	11,8	17,0	20,0	—	555	885	1036	—
	10		0,95	1,05	14,9	20,9	23,9	30,9	742	1271	1454	2966
	14		0,95	1,05	16,2	22,2	25,2	32,2	868	1434	1628	3221
	19		0,95	1,05	18,1	24,1	27,1	34,1	1045	1666	1874	3642
	27		0,95	1,05	21,9	27,9	30,9	37,9	1407	2144	2375	4336
	37		1,05	1,15	24,5	30,5	33,5	40,5	1748	2556	2815	4992
1,5	4	1,0	0,95	—	10,5	15,7	18,7	—	465	766	907	—
	5		0,95	—	11,5	16,7	19,7	—	533	856	1005	—
	7		0,95	—	12,5	17,7	20,7	—	621	966	1122	—
	10		0,95	1,05	15,9	21,9	24,9	31,9	838	1396	1586	3187
	14		0,95	1,05	17,3	23,3	26,3	33,3	987	1586	1787	3467
	19		0,95	1,05	19,3	25,3	28,3	35,3	1196	1854	2071	3922
	27		1,05	1,15	23,5	29,5	32,5	39,6	1654	2434	2680	4698
	37		1,05	1,15	26,4	32,4	35,4	42,4	2126	2889	3261	5511
2,5	4	1,0	0,95	—	11,5	16,7	19,7	—	546	869	1081	—
	5		0,95	—	12,6	17,8	20,8	—	629	976	1134	—
	7		0,95	1,05	13,7	19,7	22,7	29,7	740	1235	1409	2837
	10		0,95	1,05	17,4	23,4	26,4	33,4	1006	1607	1811	3488
	14		0,95	1,05	19,0	25,0	28,0	35,0	1204	1851	2066	3821
	19		0,95	1,05	21,2	27,2	30,2	37,2	1474	2186	2418	4342
	27		1,05	1,05	26,2	32,2	35,2	42,2	2146	3002	3275	5478
	37		1,05	1,05	29,3	38,3	41,3	45,3	2760	3708	4004	6413
4,0	4	1,0	0,95	—	12,6	17,8	20,8	—	633	1000	1158	—
	7		0,95	1,05	15,1	21,1	24,1	31,1	908	1443	1627	3137
	10		0,95	1,05	13,4	25,4	28,4	35,4	1246	1906	2125	3973
6,0	4	1,2	0,95	—	13,8	19,8	22,8	—	778	1275	1448	—
	7		0,95	1,05	16,6	22,6	25,6	32,6	1106	1684	1881	3469
	10		0,95	1,05	31,3	27,3	30,3	37,3	1524	2239	2476	4393

Примечания: 1. Обмотка лентами выполняется одной лентой из полиамидной, полиэтилентерефталатной или поливинилхлоридной пленки; из телефонной или кабельной бумаги (по скрученным жилам).

2. Броня в кабеле КРСГ отсутствует, в КРСБГ — две стальные ленты с противокоррозионным покрытием, в КРСБ — две стальные ленты, в КРСК — круглые стальные проволоки.

3. Наружный покров в кабелях КРСГ и КРСБГ отсутствует, в КРСБ и КРСК — битумно-волокнистый.

Таблица 4-2

Токопроводящие жилы		Изолированные жилы		Толщина оболочки, мм	Наружный диаметр, мм		Расчетная масса, кг/км					
Материал	Сечение, мм²	Число	Толщина изоляции, мм		КРВГ, КРВГЭ, АКРВГ, АКРВГЭ	КРВБ, АКРВБ	КРВГ	КРВБ	КРВГЭ	АКРВГ	АКРВБ	АКРВГЭ
Медь	0,75	4	1,0	1,5	11,2	19,3	162	635	191	—	—	—
		5		1,5	12,0	20,2	190	688	222	—	—	—
		7		1,5	12,9	21,1	232	758	268	—	—	—
		10		1,5	16,4	25,4	319	1102	360	—	—	—
		14		1,5	17,6	26,6	395	1222	455	—	—	—
		19		1,7	19,4	28,4	501	1399	553	—	—	—
		27		1,7	23,8	32,8	732	1762	797	—	—	—
		37		1,7	25,3	35,3	936	2095	1009	—	—	—
		52		1,9	32,4	41,4	1353	2944	1445	—	—	—
Медь	1,0	4	1,0	1,5	11,6	19,8	183	668	207	—	—	—
		5		1,5	12,5	20,7	216	729	246	—	—	—
		7		1,5	13,4	22,4	263	932	299	—	—	—
		10		1,5	17,0	26,0	358	1165	407	—	—	—
		14		1,5	18,3	27,3	448	1302	497	—	—	—
		19		1,7	20,2	29,2	573	1500	628	—	—	—
		27		1,7	24,7	33,7	887	1891	949	—	—	—
		37		1,7	27,4	36,4	1072	2272	1155	—	—	—
		52		1,9	33,8	42,8	1504	3180	1598	—	—	—
Медь	1,5	4	1,0	1,5	12,1	20,3	210	712	237	—	—	—
		5		1,5	13,1	22,1	250	908	282	—	—	—
		7		1,5	14,1	23,1	309	1006	344	—	—	—
		10		1,5	18,0	27,0	426	1269	474	—	—	—
		14		1,7	19,4	28,4	538	1436	589	—	—	—
		19		1,7	21,4	30,4	691	1663	760	—	—	—

Токопроводящие жилы		Изолированные жилы		Толщина оболочки, мм	Наружный диаметр, мм		Расчетная масса, кг/км					
Материал	Сечение, мм²	Число	Толщина изоляции, мм		КРВГ, КРВГЭ, АКРВГ, АКРВГЭ	КРВБ, АКРВБ	КРВГ	КРВБ	КРВГЭ	АКРВГ	АКРВБ	АКРВГЭ
Медь		27		1,7	26,3	35,3	1007	1895	1081	—	—	—
		37		1,9	29,1	38,1	1301	2561	1383	—	—	—
		52		2,1	37,9	46,9	1835	3582	1936	—	—	—
Медь, алюминий	2,5	4	1,0	1,5	13,1	22,1	267	925	299	205	864	237
		5		1,5	14,2	23,2	320	1020	355	242	942	270
		7		1,5	15,3	24,3	400	1142	439	291	1033	330
		10		1,7	19,5	28,5	553	1453	604	397	1297	448
		14		1,7	21,1	30,1	708	1670	766	490	1452	548
		19		1,7	23,3	32,3	919	1964	983	623	1668	689
		27		1,9	29,6	38,6	1341	2582	1424	912	2198	995
		37		1,9	32,8	41,8	1809	3213	1901	1233	2637	1328
Медь, алюминий	4,0	4	1,0	1,5	14,7	23,7	334	1052	372	233	951	271
		7		1,5	17,2	26,2	521	1334	566	345	1158	390
		10		1,7	21,5	30,5	740	1726	798	488	1474	566
Медь, алюминий	6,0	4	1,2	1,5	15,9	24,9	427	1191	469	227	1041	320
		7		1,7	18,7	27,7	679	1550	728	416	1287	465
		10		1,7	23,4	32,4	966	2015	1030	591	1640	655
Алюминий	10,0	4	1,2	1,7	21,4	30,4	—	—	—	431	1366	489
		7		1,7	26,5	35,4	—	—	—	718	1838	792
		10		1,9	34,5	43,4	—	—	—	1097	2505	1189

Примечания: 1. Обмотка лентами выполняется одной лентой из полиамидной, полиэтилентерефталатной или поливинилхлоридной пленки; из телефонной бумаги (по скрученным жилам).

2. Экран в кабелях КРВГ, КРВБ, АКРВГ и АКРВБ отсутствует, в КРЗГЭ и АКРВГЭ — обмотка медной фольгой или лентой толщиной 0,06 мм.

3. Броня в кабелях КРВГ, КРВГЭ, АКРВГ и АКРВГЭ отсутствует, в КРВБ и АКРВБ — две стальные ленты.

4. Наружный покров в кабелях КРВГ, КРВГЭ, АКРВГ и АКРВГЭ отсутствует, в КРВБ и АКРВБ — битумно-волокнистый.

Таблица 4-3

Токопроводящие жилы		Изолированные жилы		Толщина оболочки, мм	Наружный диаметр, мм		Расчетная масса, кг/км			
Материал	Сечение, мм²	Число	Толщина изоляции, мм		КРВБГ, АКРВБГ	КРВБбГ, АКВБбГ	КРВБГ, КРВБГц	АКРВБГ, АКРВБГц	КРВБбГ	АКРВБбГ
Медь	0,75	4	1,0	1,5	16,4	20,1	489	—	515	—
		5		1,5	17,2	20,9	536	—	565	—
		7		1,5	18,1	21,8	599	627	627	—
		10		1,5	22,6	25,0	908	—	914	—
		14		1,7	23,6	26,1	1020	—	1031	—
		19		1,7	25,4	27,9	1180	—	1192	—
		27		1,7	30,0	31,3	1445	—	1460	—
		37		1,7	32,5	34,8	1821	—	1838	—
		52		2,1	38,5	40,8	2642	—	2668	—
Медь	1,0	4	1,0	1,5	16,8	20,5	519	—	548	—
		5		1,5	17,7	21,4	573	—	604	—
		7		1,5	19,4	21,9	761	—	769	—
		10		1,5	23,0	25,5	965	—	974	—
		14		1,7	24,3	26,8	1094	—	1106	—
		19		1,7	26,2	28,7	1270	—	1281	—
		27		1,7	30,7	33,2	1636	—	1657	—
		37		1,9	33,4	35,9	1991	—	2006	—
		52		2,1	39,8	42,3	2882	—	2902	—
Медь	1,5	4	1,0	1,5	17,3	21,0	558	—	587	—
		5		1,5	19,1	21,6	740	—	748	—
		7		1,5	20,1	22,7	829	—	838	—
		10		1,7	24,0	26,5	1064	—	1077	—
		14		1,7	25,4	27,9	1219	—	1233	—
		19		1,7	27,4	29,9	1430	—	1445	—

Продолжение табл. 4-3

Токопроводящие жилы		Изолированные жилы		Толщина оболочки, мм	Наружный диаметр, мм		Расчетная масса, кг/км			
Материал	Сечение, мм²	Число	Толщина изоляции, мм		КРВБГ, АКРВБГ	КРВБбГ, АКВБбГ	КРВБГ, КРВБГц	АКРВБГ, АКРВБГц	КРВБбГ	АКРВБбГ
Медь		27		1,7	32,3	34,8	1895	—	1909	—
		37		1,9	35,1	37,6	2270	—	2299	—
		52		2,1	41,9	44,4	3291	—	3312	—
Медь, алюминий	2,5	4	1,0	1,5	19,1	21,6	757	695	765	703
		5		1,5	20,2	22,7	843	765	854	776
		7		1,5	21,3	23,8	955	846	967	858
		10		1,7	25,5	28,0	1235	1079	1242	1086
		14		1,7	27,1	29,6	1438	1219	1455	1236
		19		1,7	29,3	31,8	1714	1418	1735	1439
		27		1,9	35,6	38,1	2294	1876	2323	1905
		37		2,1	38,8	41,3	2890	2314	2916	2340
Медь, алюминий	4,0	4	1,0	1,5	20,7	23,2	874	770	886	782
		7		1,7	23,2	25,7	1133	957	1141	965
		10		1,7	27,5	30,1	1482	1230	1503	1251
Медь, алюминий	6,0	4	1,2	1,5	21,9	24,4	1001	851	1012	862
		7		1,7	24,8	27,3	1336	1073	1349	1086
		10		1,7	29,4	31,9	1706	1389	1727	1410
Алюминий	10	4	1,2	1,7	27,4	29,9	—	1139	—	1151
		7		1,7	32,5	35,0	—	1573	—	1594
		10		2,1	40,5	43,0	—	2180	—	2204

Примечания: 1. Обмотка лентами выполняется одной лентой из полиамидной, полиэтилентерефталатной или поливинилхлоридной пленки; из телефонной или кабельной бумаги (по скрученным жилам).

2. Броня в кабелях КРВБГ и АКРВБГ выполняется двумя стальными лентами с противокоррозионным покрытием, в КРВБбГ и АКРВБбГ — профилированной стальной оцинкованной лентой, в КРВБГц и АКРВБГц — двумя стальными оцинкованными лентами.

Таблица 4-4

Токопроводящие жилы		Изолированные жилы		Толщина оболочки, мм	Наружный диаметр, мм		Расчетная масса, кг/км			
Материал	Сечение, мм²	Число	Толщина изоляции, мм		КРНГ, АКРНГ	КРНБ, АКРНБ	КРНГ	АКРНГ	КРНБ	АКРНБ
Медь	0,75	4	1,0	1,7	11,2	19,4	183	—	656	—
		5		1,7	12,0	20,2	213	—	711	—
		7		1,7	12,9	21,1	256	—	782	—
		10		2,0	16,5	25,5	350	—	1137	—
		14		2,0	17,7	26,7	429	—	1262	—
		19		2,2	19,5	28,5	538	—	1438	—
		27		2,2	23,9	32,9	725	—	1761	—
		37		2,2	26,4	35,4	999	—	2160	—
		52		2,5	32,4	41,4	1418	—	2914	—
Медь	1,0	4	1,0	1,7	11,4	19,8	206	—	691	—
		5		1,7	12,5	20,7	241	—	754	—
		7		1,7	13,4	22,4	289	—	958	—
		10		2,0	17,1	26,1	390	—	1200	—
		14		2,0	18,4	27,4	483	—	1343	—
		19		2,2	20,3	29,3	612	—	1543	—
		27		2,2	24,8	33,8	862	—	1951	—
		37		2,2	27,5	36,5	1138	—	2342	—
		52		2,5	33,9	42,9	1545	—	3147	—
Медь	1,5	4	1,0	1,7	12,1	20,3	233	—	735	—
		5		1,7	13,1	22,1	276	—	934	—
		7		2,0	14,1	23,1	336	—	1033	—
		10		2,0	18,1	27,1	460	—	1307	—
		14		2,2	19,5	28,5	575	—	1475	—
		19		2,2	21,5	30,5	733	—	1709	—

Токопроводящие жилы		Изолированные жилы		Толщина оболочки, мм	Наружный диаметр, мм		Расчетная масса, кг/км			
Материал	Сечение, мм²	Число	Толщина изоляции, мм		КРНГ, АКРНГ	КРНБ, АКРНБ	КРНГ	АКРНГ	КРНБ	АКРНБ
Медь		27		2,2	26,4	35,4	1065	—	2231	—
		37		2,2	29,2	38,2	1372	—	2641	—
		52		3,0	36,0	45,0	1867	—	3527	—
Медь, алюминий	2,5	4	1,0	1,7	13,1	22,1	293	231	951	889
		5		2,0	14,2	23,2	349	271	1049	971
		7		2,0	15,3	24,3	431	322	1173	1064
		10		2,2	19,6	28,6	590	434	1495	1339
		14		2,2	21,2	30,2	746	531	1714	1496
		19		2,2	23,4	32,4	965	669	2014	1718
		27		2,5	29,7	38,7	1402	981	2661	2242
		37		2,5	32,9	41,9	1902	1326	3310	2734
Медь, алюминий	4	4	1,0	2,0	14,8	23,8	352	251	1074	973
		7		2,0	17,3	26,3	554	378	1371	1195
		10		2,2	21,6	30,6	782	530	1755	1503
Медь, алюминий	6	4	1,2	2,0	16,0	25,0	446	296	1214	1064
		7		2,0	18,8	27,8	715	452	1588	1325
		10		2,2	23,5	32,5	1012	637	2063	1688
Алюминий	10	4	1,2	2,2	21,5	30,5	—	473	—	1410
		7		2,2	26,6	35,6	—	781	—	1905
		10		2,5	34,6	43,6	—	1196	—	2603

Примечания: 1. Обмотка лентами выполняется одной лентой из полиамидной, полиэтилентерефталатной или поливинилхлоридной пленки; из телефонной или кабельной бумаги (по скрученным жилам).

2. Броня в кабелях КРНГ и АКРНГ отсутствует, в КРНБ и АКРНБ — две стальные ленты.

3. Наружный покров в кабелях КРНГ и АКРНГ отсутствует, в КРНБ и АКРНБ — битумно-волокнистый.

Таблица 4-5

Токопроводящие жилы		Изолированные жилы		Толщина оболочки, мм	Наружный диаметр, мм		Расчетная масса, кг/км			
Материал	Сечение, мм²	Число	Толщина изоляции, мм		КРНБГ, АКРНБГ, КРНБГц, АКРНБГц	КРНБбГ, АКРНБбГ	КРНБГ, КРНБГц	АКРНБГ, АКРНБГц	КРНБбГ	АКРНБГ
Медь	0,75	4	1,0	1,7	16,4	20,1	510	—	536	—
		5		1,7	17,2	20,9	559	—	588	—
		7		1,7	18,1	21,8	623	—	651	—
		10		2,0	22,5	25,0	942	—	947	—
		14		2,0	23,7	26,2	1056	—	1061	—
		19		2,2	25,5	28,0	1220	—	1231	—
		27		2,2	29,9	32,4	1514	—	1529	—
		37		2,2	32,4	34,9	1888	—	1905	—
		52		2,5	38,4	40,9	2521	—	2542	—
Медь	1,0	4	1,0	1,7	16,8	20,5	542	—	571	—
		5		1,7	17,7	21,4	598	—	629	—
		7		1,7	19,4	21,9	788	—	796	—
		10		2,0	23,1	25,6	1000	—	1008	—
		14		2,0	24,4	26,9	1132	—	1141	—
		19		2,2	26,3	28,8	1318	—	1329	—
		27		2,2	30,8	33,3	1691	—	1710	—
		37		2,2	33,5	36,0	2058	—	2073	—
		52		2,5	39,9	42,4	2754	—	2774	—
Медь	1,5	4	10	1,7	17,3	21,0	581	—	610	—
		5		1,7	19,1	21,6	766	—	774	—
		7		2,0	20,1	22,7	856	—	865	—
		10		2,0	24,1	26,6	1099	—	1109	—
		14		2,2	25,5	28,0	1257	—	1271	—
		19		2,2	27,5	30,0	1474	—	1487	—

Токопроводящие жилы		Изолированные жилы		Толщина оболочки, мм	Наружный диаметр, мм		Расчетная масса, кг/км			
Материал	Сечение, мм²	Число	Толщина изоляции, мм		КРНБГ, АКРНБГ, КРНБГц, АКРНБГц	КРНБбГ, АКРНБбГ	КРНБГ, КРНБГц	АКРНБГ, АКРНБГц	КРНБбГ	АКРНБГ
Медь		27		2,2	32,4	34,9	1959	—	1972	—
		37		2,2	35,2	37,7	2344	—	2363	—
		52		3,0	42,0	44,5	3160	—	3182	—
Медь, алюминий	2,5	4	1,0	1,7	19,1	21,6	763	721	771	728
		5		2,0	20,2	22,7	872	794	883	805
		7		2,0	21,3	23,8	986	877	998	891
		10		2,2	25,6	28,1	1274	1118	1291	1135
		14		2,2	27,2	29,7	1482	1264	1499	1281
		19		2,2	29,4	31,9	1763	1467	1784	1488
		27		2,5	25,7	28,2	2364	1946	2396	1978
		37		2,5	38,9	41,4	2785	2409	2821	2445
Медь, алюминий	4	4	1,0	2,0	20,8	23,3	892	791	901	798
		7		2,0	23,3	25,5	1170	994	1182	1005
		10		2,2	27,6	30,1	1527	1275	1642	1290
Медь, алюминий	6	4	1,2	2,2	22,0	24,5	1023	873	1034	884
		7		2,2	24,8	27,3	1376	1113	1389	1126
		10		2,2	29,5	32,0	1813	1438	1834	1459
Алюминий	10	4	1,2	2,2	27,5	30,0	—	1184	—	1199
		7		2,2	32,6	35,1	—	1640	—	1661
		10		2,5	40,6	43,1	—	2280	—	2314

Примечания: 1. Обмотка лентами выполняется одной лентой из полиамидной, полиэтилентерефталатной или поливинилхлоридной пленки; из кабельной или телефонной бумаги (по скрученным жилам).

2. Броня в кабелях КРНБГ и АКРНБГ — две стальные ленты с противокоррозионным покрытием, в КРНБбГ и АКРНБбГ — профилированная стальная оцинкованная лента, в КРНБГц и АКРНБГц — две стальные оцинкованные ленты.

Таблица 4-6

Токопроводящая жила: Материал	Токопроводящая жила: Сечение, мм²	Изолированные жилы: Число	Изолированные жилы: Толщина изоляции, мм	Толщина оболочки, мм	Наружный диаметр, мм: КВВГ, КВВГЭ, АКВВГ, АКВВГЭ	Наружный диаметр, мм: КВВБ, АКВВБ	Расчетная масса, кг/км: КВВГ	Расчетная масса, кг/км: КВВГЭ	Расчетная масса, кг/км: КВВБ	Расчетная масса, кг/км: АКВВГ	Расчетная масса, кг/км: АКВВГЭ	Расчетная масса, кг/км: АКВВБ
Медь	0,75	4	0,6	1,5	11,2	19,3	151	180	606	—	—	—
		5		1,5	12,0	20,2	177	209	668	—	—	—
		7		1,5	12,9	21,1	210	246	724	—	—	—
		10		1,5	16,4	25,4	283	324	1067	—	—	—
		14		1,5	17,6	26,6	364	421	1175	—	—	—
		19		1,7	19,4	28,4	477	529	1352	—	—	—
		27		1,7	23,8	32,8	706	771	1724	—	—	—
		37		1,7	26,3	35,3	901	974	2017	—	—	—
		52		1,9	32,4	41,4	1223	1325	2742	—	—	—
		61		2,1	34,2	43,2	1452	1578	3311	—	—	—
Медь	1,0	4	0,7	1,5	11,6	19,8	169	193	641	—	—	—
		5		1,5	12,5	20,7	197	227	702	—	—	—
		7		1,5	13,4	22,4	231	267	914	—	—	—
		10		1,5	17,0	26,0	334	376	1131	—	—	—
		14		1,7	18,3	27,3	418	467	1275	—	—	—
		19		1,7	20,2	29,2	534	588	1398	—	—	—
		27		1,7	24,7	33,7	850	911	1823	—	—	—
		37		1,7	27,4	36,4	1011	1190	2196	—	—	—
		52		1,9	33,8	42,8	1423	1512	3075	—	—	—
		61		2,1	35,7	44,7	1696	1780	3624	—	—	—
Медь	1,5	4	0,7	1,5	12,1	20,3	191	218	678	—	—	—
		5		1,5	13,1	22,1	232	264	861	—	—	—
		7		1,5	14,1	23,1	279	314	965	—	—	—
		10		1,5	18,0	27,0	404	452	1192	—	—	—
		14		1,7	19,4	28,4	530	581	1364	—	—	—
		19		1,7	21,4	30,4	658	727	1573	—	—	—
		27		1,7	26,3	35,3	962	1034	1807	—	—	—
		37		1,9	29,1	38,1	1251	1333	2462	—	—	—
		52		2,1	37,9	46,9	1764	1865	3488	—	—	—
		61		2,1	39,9	48,9	2095	2216	4127	—	—	—
Медь, алюминий	2,5	4	0,7	1,5	13,1	22,1	248	280	912	193	225	851
		5		1,5	14,2	23,2	304	339	1004	227	262	927
		7		1,5	15,3	24,3	379	418	1121	270	309	1011
		10		1,7	19,5	28,5	523	574	1423	367	418	1267
		14		1,7	21,1	30,1	665	723	1627	447	499	1409
		19		1,7	23,3	32,3	864	928	1908	567	627	1612
		27		1,9	29,6	38,6	1272	1355	2470	833	916	2086
		37		2,1	32,8	41,8	1710	1803	3103	1123	1218	2527
Медь, алюминий	4,0	4	0,8	1,5	14,7	23,7	320	358	1038	219	256	937
		7		1,5	17,2	26,2	497	542	1310	321	366	1137
		10		1,7	21,5	30,5	705	763	1691	453	531	1439
Медь, алюминий	6,0	4	0,8	1,5	15,9	24,9	411	453	1176	261	304	1026
		7		1,5	18,7	27,7	652	538	1528	388	437	1259
		10		1,7	23,4	32,4	926	515	1775	551	616	1600
Алюминий	10,0	4	1,0	1,7	20,4	29,4	—	—	—	406	464	1341
		7		1,7	25,3	34,3	—	—	—	675	749	1795
		10		1,9	32,9	41,9	—	—	—	1035	1133	2443

Примечания: 1. Обмотка лентами выполняется одной лентой из полиамидной, полиэтилентерефталатной или поливинилхлоридной пленки; из телефонной или кабельной бумаги (по скрученным жилам).

2. Экран в кабелях КВВГ, КВВБ, АКВВГ и АКВВБ отсутствует, в КВВГЭ и АКВВГЭ — обмотка медной фольгой или лентой толщиной 0,06 мм; допускается продольноналоженная медная проволока и обмотка алюминиевой фольгой.

3. Броня в кабелях КВВГ, КВВГЭ, АКВВГ и АКВВГЭ отсутствует, в КВВБ и АКВВБ — две стальные ленты.

4. Наружный покров в кабелях КВВГ, КВВГЭ, АКВВГ и АКВВВГЭ отсутствует, в КВВБ и АКВВБ — битумно-волокнистый.

Таблица 4-7

Токопроводящая жила		Изолированные жилы		Толщина оболочки, мм	Наружный диаметр, мм		Расчетная масса, кг/км			
Материал	Сечение, мм²	Число	Толщина, мм		КВВБГ, КВВБГц, АКВВБГ, АКВВБГц	КВВБбГ, АКВВБбГ	КВВБГ, КВВБГц	АКВВБГ, АКВВБГц	КВВБбГ	АКВВБбГ
Медь	0,75	4	0,6	1,5	16,4	19,7	478	—	504	—
		5		1,5	17,2	20,5	516	—	545	—
		7		1,5	18,1	21,4	565	—	593	—
		10		1,5	22,5	25,0	872	—	877	—
		14		1,5	23,7	26,2	971	—	978	—
		19		1,7	25,5	28,0	1134	—	1145	—
		27		1,7	29,9	32,4	1423	—	1438	—
		37		1,7	32,4	34,9	1786	—	1803	—
		52		1,9	38,4	40,9	2401	—	2422	—
		61		2,1	40,2	42,7	2814	—	2840	—
Медь	1,0	4	0,7	1,5	16,8	20,1	502	—	531	—
		5		1,5	17,7	21,0	548	—	579	—
		7		1,5	19,4	21,9	718	—	726	—
		10		1,5	23,1	25,6	931	—	940	—
		14		1,7	24,4	26,9	1052	—	1061	—
		19		1,7	26,3	28,8	1228	—	1239	—
		27		1,7	30,8	33,3	1591	—	1612	—
		37		1,7	33,5	36,0	1948	—	1963	—
		52		1,9	39,9	42,4	2634	—	2654	—
		61		2,1	41,8	44,3	3075	—	3097	—
Медь	1,5	4	0,7	1,5	17,3	20,6	541	—	570	—
		5		1,5	19,1	21,6	721	—	729	—
		7		1,5	20,1	22,7	796	—	805	—
		10		1,5	24,1	26,6	1029	—	1042	—
		14		1,7	25,5	28,0	1177	—	1191	—

Продолжение табл. 4-7

Токопроводящая жила		Изолированные жилы		Толщина оболочки, мм	Наружный диаметр, мм		Расчетная масса, кг/км			
Материал	Сечение, мм²	Число	Толщина, мм		КВВБГ, КВВБГц, АКВВБГ, АКВВБГц	КВВБбГ, АКВВБбГ	КВВБГ, КВВБГц	АКВВБГ, АКВВБГц	КВВБбГ	АКВВБбГ
Медь		19		1,7	27,5	30,0	1394	—	1407	—
		27		1,7	32,4	34,9	1859	—	1872	—
		37		1,9	35,2	37,7	2244	—	2263	—
		52		2,1	42,0	44,5	3041	—	3062	—
		61		2,7	44,0	46,5	3563	—	3591	—
Медь, алюминий	2,5	4	0,7	1,5	19,1	21,6	703	661	711	668
		5		1,5	20,2	22,7	812	734	823	735
		7		1,5	21,3	23,8	906	997	918	811
		10		1,7	25,6	28,1	1194	1028	1201	1045
		14		1,7	27,2	29,7	1382	1164	1399	1181
		19		1,7	29,4	31,9	1653	1357	1674	1378
		27		1,9	35,7	38,2	2244	1826	2276	1858
		37		2,1	38,9	41,4	2665	2279	2691	2315
Медь, алюминий	4	4	0,8	1,5	20,8	23,3	812	711	824	718
		7		1,5	23,3	25,8	1085	904	1092	915
		10		1,7	27,6	30,1	1427	1175	1442	1190
Медь, алюминий	6	4	0,8	1,5	22,0	24,5	1033	783	1044	794
		7		1,5	24,8	27	1276	1013	1289	1026
		10		1,7	29,5	32,0	1703	1328	1724	1349
Алюминий	10	4	1,0	1,7	27,5	30,0	—	1094	—	1105
		7		1,7	32,6	35,1	—	1540	—	1561
		10		1,9	40,6	43,1	—	2170	—	2204

Примечания: 1. Обмотка лентами выполняется одной лентой из полиамидной, полиэтилентерефталатной или поливинилхлоридной пленки; из кабельной или телефонной бумаги (по скрученным жилам).

2. Броня в кабелях КВВБГ и АКВВБГ — две стальные ленты с противокоррозионным покрытием, в КВВБбГ и АКВВБбГ — профилированная стальная оцинкованная лента, в КВВБГц и АКВВБГц — две стальные оцинкованные ленты.

Таблица 4-8

Токопроводящая жила		Изолированные жилы		Наружный диаметр, мм			Расчетная масса, кг/км				
Материал	Сечение, мм²	Число	Толщина изоляции, мм	КВБбШв, АКВБбШв	КВПбШв	КВСтШв, АКВСтШв	КВБбШв	КВПбШв	КВСтШв	АКВБбШв	АКВСтШв
Медь	0,75	4	0,6	16,8	—	—	488	—	—	—	—
		5		17,6	—	—	526	—	—	—	—
		7		18,5	—	—	585	—	—	—	—
		10		23,0	29,0	—	892	2174	—	—	—
		14		24,0	30,0	—	1001	2312	—	—	—
		19		25,8	31,8	—	1164	2667	—	—	—
		27		30,4	36,4	—	1463	3291	—	—	—
		37		32,9	38,9	—	1836	3886	—	—	—
		52		38,9	—	—	2461	—	—	—	—
		61		40,6	—	—	2894	—	—	—	—
Медь	1,0	4	0,7	17,2	—	—	512	—	—	—	—
		5		18,1	—	—	568	—	—	—	—
		7		19,8	—	—	748	—	—	—	—
		10		23,4	29,4	—	971	2290	—	—	—
		14		24,7	30,7	—	1092	2522	—	—	—
		19		26,6	32,6	—	1278	2849	—	—	—
		27		31,1	37,1	—	1651	3576	—	—	—
		37		33,8	39,8	—	2008	4113	—	—	—
		52		40,2	—	—	2714	—	—	—	—
		61		42,2	—	—	3175	—	—	—	—
Медь	1,5	4	0,7	17,7	—	—	551	—	—	—	—
		5		19,5	—	—	741	—	—	—	—
		7		20,5	—	—	826	—	—	—	—
		10		24,4	30,4	21,5	1069	2469	583	—	—
		14		25,9	31,9	23,0	1227	2718	737	—	—
		19		27,9	33,9	25,2	1454	3125	943	—	—
		27		32,7	38,9	30,1	1919	3931	1426	—	—
		37		35,5	41,5	—	2324	4567	—	—	—
		52		42,3	—	—	3141	—	—	—	—
		61		44,4	—	—	3683	—	—	—	—
Медь, алюминий	2,5	4	0,7	19,5	—	—	723	—	—	691	—
		5		20,6	—	—	832	—	—	768	—
		7		21,7	27,7	—	946	2154	—	839	—
		10		25,9	31,9	21,0	1244	2742	648	1105	461
		14		27,5	33,5	24,8	1442	3052	814	1183	557
		19		29,7	35,7	27,1	1723	3516	1071	1477	724
		27		36,0	42,0	—	2334	4631	—	2016	—
		37		39,2	45,2	—	2765	5387	—	2441	—
Медь, алюминий	4,0	4	0,8	21,1	—	—	842	—	—	744	—
		7		23,6	29,6	20,6	1125	2475	576	1061	396
		10		27,9	33,9	25,2	1477	3141	912	1236	594
Медь, алюминий	6,0	4	0,8	22,3	—	—	1083	—	—	889	—
		7		25,2	31,2	22,3	1346	2792	744	1145	538
		10		29,8	35,8	27,1	1803	3628	1136	1547	811
Алюминий	10,0	4	1,0	27,8	—	25,1	—	—	—	1214	556
		7		32,9	—	30,3	—	—	—	1680	925
		10		40,9	—	—	—	—	—	2318	—

Примечания: 1. Обмотка лентами в кабелях КВБбШв, КВПбШв и АКВБбШв — две ленты из полиамидной, полиэтилентерефталатной или поливинилхлоридной пленки, поверх них две ленты крепированной бумаги; в КВСтШв и АКВСтШв — одна лента из полиамидной, полиэтилентерефталатной или поливинилхлоридной пленки, телефонной или кабельной бумаги (по скрученным жилам).

2. Оболочка в кабелях КВБбШв, АКВБбШв и КВПбШв отсутствует, в КВСтШв и АКВСтШв — стальная гофрированная сварная.

3. Броня в кабелях КВБбШв и АКВБбШв — две стальные ленты, в КВПбШв — круглые стальные оцинкованные проволоки, в КВСтШв и АКВСтШв — отсутствует.

Таблица 4-9

Токопроводящие жилы		Изолированные жилы		Толщина оболочки, мм	Наружный диаметр, мм		Расчетная масса, кг/км			
Материал	Сечение, мм²	Число	Толщина, мм		КПВГ, АКПВГ	КПВБ, АКПВБ	КПВГ	КПВБ	АКПВГ	АКПВБ
Медь	0,75	4	0,6	1,5	8,9	17,1	114	452	—	—
		5		1,5	9,4	17,6	131	493	—	—
		7		1,5	10,1	18,3	153	528	—	—
		10		1,5	12,8	21,0	206	774	—	—
		14		1,5	13,1	22,1	258	835	—	—
		19		1,5	14,4	23,4	334	949	—	—
		27		1,5	17,9	26,9	485	1188	—	—
		37		1,7	19,7	28,7	612	1371	—	—
		52		1,7	24,7	33,7	820	1837	—	—
		61		1,7	26,0	35,0	969	2171	—	—
Медь	1,0	4	0,6	1,5	9,3	17,5	129	453	—	—
		5		1,5	9,9	18,1	147	496	—	—
		7		1,5	10,6	18,8	166	642	—	—
		10		1,5	13,4	22,4	234	793	—	—
		14		1,5	13,8	22,8	295	884	—	—
		19		1,5	15,2	24,2	368	967	—	—
		27		1,7	18,8	27,8	582	1239	—	—
		37		1,7	20,8	29,8	690	1476	—	—
		52		1,7	26,1	35,1	893	2010	—	—
		61		1,7	27,5	36,5	1065	2371	—	—
Медь	1,5	4	0,6	1,5	9,8	18,0	143	504	—	—
		5		1,5	10,5	18,7	174	640	—	—
		7		1,5	11,3	20,1	209	705	—	—
		10		1,5	13,8	22,8	286	871	—	—
		14		1,5	14,9	23,9	372	967	—	—

Продолжение табл. 4-9

Токопроводящие жилы		Изолированные жилы		Толщина оболочки, мм	Наружный диаметр, мм		Расчетная масса, кг/км			
Материал	Сечение, мм²	Число	Толщина, мм		КПВГ, АКПВГ	КПВБ, АКПВБ	КПВГ	КПВБ	АКПВГ	АКПВБ
Медь		19		1,5	16,4	25,4	454	1083	—	—
		27		1,7	20,4	29,4	665	1236	—	—
		37		1,7	22,5	31,5	863	1652	—	—
		52		1,7	30,2	39,2	1169	2321	—	—
		61		1,7	31,7	40,7	1357	2576	—	—
Медь, алюминий	2,5	4	0,6	1,5	10,8	19,0	187	686	132	602
		5		1,5	11,6	19,8	229	761	154	652
		7		1,5	12,5	20,6	281	824	170	696
		10		1,5	15,3	24,3	380	1032	249	906
		14		1,5	16,6	25,6	473	1158	294	1028
		19		1,7	18,3	27,3	607	1335	365	1121
		27		1,7	23,7	32,7	898	1704	499	1327
		37		1,7	26,2	35,2	1164	2136	670	1576
Медь, алюминий	4,0	4	0,6	1,5	12,4	20,6	238	770	161	526
		7		1,5	13,8	22,8	361	945	227	767
		10		1,5	17,3	26,3	490	1177	331	977
Медь, алюминий	6,0	4	0,6	1,5	12,6	21,6	334	875	197	714
		7		1,5	14,1	23,1	475	1117	284	870
		10		1,5	17,6	26,6	683	1271	415	1018
Алюминий	10,0	4	0,8	1,5	17,5	26,5	—	—	289	896
		7		1,7	21,9	30,9	—	—	433	1132
		10		1,9	28,7	37,7	—	—	681	1566

Примечания: 1. Обмотка лентами выполняется одной лентой из полиамидной, полиэтилентерефталатной или поливинилхлоридной пленки.(по скрученным жилам).

2. Броня в кабелях КПВГ и АКВПВГ отсутствует, в КПВБ и АКПВБ — две стальные ленты.

3. Наружный покров в кабелях КПВГ и АКВПВГ отсутствует, в КПВБ и АКВПБ — битумно-волокнистый.

Таблица 4-10

Токопроводящая жила		Изолированные жилы		Толщина оболочки, мм	Наружный диаметр, мм		Расчетная масса, кг/км			
Материал	Сечение, мм²	Число	Толщина изоляции, мм		КПВБГ, АКПВБГ	КПВБбГ, АКПВБбГ	КПВБГ	КПВБбГ	АКПВБГ	АКПВБбГ
Медь	0,75	4	0,6	1,5	14,1	17,4	357	379	—	—
		5		1,5	14,6	17,9	385	414	—	—
		7		1,5	15,3	18,6	413	437	—	—
		10		1,5	18,9	22,2	622	638	—	—
		14		1,5	19,2	21,7	694	701	—	—
		19		1,5	20,5	23,0	780	788	—	—
		27		1,5	24,0	26,5	985	994	—	—
		37		1,7	25,8	28,3	1041	1052	—	—
		52		1,7	30,7	33,2	1416	1433	—	—
		61		1,7	32,0	34,5	1654	1676	—	—
Медь	1,0	4	0,6	1,5	14,5	17,8	377	394	—	—
		5		1,5	15,1	18,4	412	431	—	—
		7		1,5	16,6	19,9	539	565	—	—
		10		1,5	19,5	22,0	699	706	—	—
		14		1,5	19,9	22,4	791	798	—	—
		19		1,5	21,3	23,8	925	935	—	—
		27		1,7	24,9	27,4	1194	1206	—	—
		37		1,7	26,9	29,4	1463	1480	—	—
		52		1,7	32,2	34,7	1978	1997	—	—
		61		1,7	33,6	36,1	2320	2343	—	—
Медь	1,5	4	0,6	1,5	15,0	18,3	398	427	—	—
		5		1,5	16,5	19,8	534	564	—	—
		7		1,5	17,3	20,6	590	623	—	—
		10		1,5	19,9	22,4	754	761	—	—
		14		1,5	21,0	23,5	862	871	—	—

Токопроводящая жила		Изолированные жилы		Толщина оболочки, мм	Наружный диаметр, мм		Расчетная масса, кг/км			
Материал	Сечение, мм²	Число	Толщина изоляции, мм		КПВБГ, АКПВБГ	КПВБбГ, АКПВБбГ	КПВБГ	КПВБбГ	АКПВБГ	АКПВБбГ
Медь, алюминий	2,5	19	0,6	1,5	22,5	25,0	1016	1026	—	—
		27		1,7	26,5	29,0	1253	1267	—	—
		37		1,7	28,6	31,1	1529	1546	—	—
		52		1,7	34,3	36,8	1976	1991	—	—
		61		1,7	35,8	38,3	2305	2328	—	—
		4		1,5	16,8	20,1	521	542	456	477
		5		1,5	17,6	20,9	610	634	500	524
		7		1,5	18,5	21,8	668	697	537	566
		14		1,5	22,7	25,2	959	972	835	847
		10		1,5	21,4	23,9	832	841	728	737
		19		1,7	24,4	26,9	1137	1152	996	1011
		27		1,7	29,8	32,3	1536	1550	1276	1290
		37		1,7	32,3	34,8	1824	1843	1532	1551
Медь, алюминий	4,0	4	0,6	1,5	18,5	21,8	604	629	534	559
		7		1,5	19,9	22,4	793	802	707	716
		10		1,5	23,4	25,9	1039	1051	875	1109
Медь, алюминий	6,0	4	0,6	1,5	18,7	22,0	789	824	706	731
		7		1,5	20,2	22,7	952	961	870	879
		10		1,5	23,7	26,2	1246	1257	1098	1109
Алюминий	10,0	4	0,8	1,5	24,6	27,1	—	—	896	905
		7		1,7	29,2	31,7	—	—	1132	1142
		10		1,9	36,4	38,9	—	—	1566	579

Примечания: 1. Обмотка лентами выполняется одной лентой из полиамидной, полиэтилентерефталатной или поливинилхлоридной пленки; телефонной или кабельной бумаги (по скрученным жилам).

2. Броня в кабелях КПВБГ и АКВПВГ — две стальные ленты с противокоррозионной защитой, в КПВБбГ и АКВПВБбГ — профилированная стальная оцинкованная лента.

Таблица 4-11

Токопроводящая жила		Изолированные жилы		Наружный диаметр, мм			Расчетная масса, кг/км				
Материал	Сечение, мм²	Число	Толщина изоляции, мм	КПБбШв, АКПБбШв	КППбШв	КПСтШв АКПСтШв	КПБбШв	КППбШв	АКПБбШв	АКПСтШв	КПСтШв
Медь	0,75	4	0,6	14,5	—	—	365	—	—	—	—
		5		15,0	—	—	395	—	—	—	—
		7		15,8	—	—	433	—	—	—	—
		10		19,3	25,3	—	652	1503	—	—	—
		19		20,9	26,9	—	820	1943	—	—	—
		14		19,6	25,6	—	734	1764	—	—	—
		27		24,4	30,4	—	1035	2439	—	—	—
		37		26,2	32,2	—	1112	2642	—	—	—
		52		31,1	—	—	1516	—	—	—	—
		61		32,4	—	—	1758	—	—	—	—
Медь	1,0	4	0,6	14,9	—	—	388	—	—	—	—
		5		15,5	—	—	422	—	—	—	—
		7		17,0	—	—	559	—	—	—	—
		10		19,9	25,9	—	729	1769	—	—	—
		14		20,3	26,3	—	831	1931	—	—	—
		19		21,7	27,7	—	975	2165	—	—	—
		27		25,3	31,1	—	1264	2734	—	—	—
		37		27,3	33,3	—	1553	3183	—	—	—
		52		32,6	—	—	2076	—	—	—	—
		61		34,0	—	—	2427	—	—	—	—
Медь	1,5	4	0,6	15,4	—	—	407	—	—	—	—
		5		16,9	—	—	544	—	—	—	—
		7		17,7	—	—	612	—	—	—	—
		10		20,3	26,3	—	785	1855	—	—	—
		14		21,4	27,4	—	904	2064	—	—	—
		19		22,9	28,9	19,9	1067	2349	522	—	—

Токопроводящая жила		Изолированные жилы		Наружный диаметр, мм			Расчетная масса, кг/км				
Материал	Сечение, мм²	Число	Толщина изоляции, мм	КПБбШв, АКПБбШв	КППбШв	КПСтШв АКПСтШв	КПБбШв	КППбШв	АКПБбШв	АКПСтШв	КПСтШв
		27		26,9	32,9	24,1	1324	2931	680	—	—
		37		29,0	35,0	26,4	1618	3364	1037	—	—
		52		34,7	—	32,2	2072	—	1324	—	—
		61		36,2	—	—	2412	—	—	—	—
Медь,	2,5	4	0,6	17,2	—	—	533	—	—	461	—
алюминий		5		18,0	—	—	625	—	—	551	—
		7		18,9	24,9	—	687	1636	—	607	—
		10		21,8	27,8	—	865	2061	—	733	—
		14		23,1	29,1	20,1	1002	2307	578	875	354
		19		24,8	30,8	21,9	1199	2626	754	1062	481
		27		30,2	36,2	27,6	1621	3384	1012	1398	739
		37		32,7	38,7	30,2	1930	3990	1364	1576	996
Медь,	4,0	4	0,6	18,9	—	—	618	—	—	561	—
алюминий		7		20,4	26,4	—	821	1904	—	729	—
		10		23,8	29,8	20,8	1096	2445	652	941	376
Медь,	6,0	4	0,6	19,1	—	—	816	—	—	715	—
алюминий		7		20,6	26,6	—	981	2078	—	873	—
		10		24,1	30,1	21,2	1298	2664	813	1110	537
Алюминий	10,0	4	0,8	25,0	—	—	—	—	—	912	—
		7		29,6	—	26,9	—	—	—	1164	612
		10		36,8	—	34,3	—	—	—	1627	934

Примечания: 1. Обмотка лентами в кабелях КПБбШв, АКПБбШв и КППбШв выполняется двумя лентами из полиамидной полиэтилентерефталатной или поливинилхлоридной пленки, поверх них две ленты крепированной бумаги, в КПСтШв и АКПСтШв — одной лентой из полиамидной, полиэтилентерефталатной или поливинилхлоридной пленки, телефонной или кабельной бумаги (по скрученным жилам).

2. Оболочка в кабелях КПБбШв, АКПСтШв и КППбШв отсутствует, в КПСтШв и АКПСтШв — стальная гофрированная сварная.

3. Броня в кабелях КПСтШв и АКПСтШв отсутствует, в КПБбШв и АКПСтШв — две стальные ленты, в КППбШв — из круглых стальных оцинкованных проволок.

Таблица 4-12

Токопроводящая жила		Изолированные жилы		Толщина оболочки, мм	Наружный диаметр, мм		Расчетная масса, кг/км					
Материал	Сечение, мм²	Число	Толщина, мм		КПсВГ КПсВГЭ АКПсВГ АКПсВГЭ	КПсВБ, АКПсВБ	КПсВГ	КПсВГЭ	КПсВБ	АКПсВГ	АКПсВГЭ	АКПсВБ
Медь	0,75	4	0,6	1,5	8,9	17,1	114	136	452	—	—	—
		5		1,5	9,4	17,6	131	157	493	—	—	—
		7		1,5	10,1	18,3	153	183	528	—	—	—
		10		1,5	12,8	21,0	206	241	774	—	—	—
		14		1,5	13,1	22,1	258	303	835	—	—	—
		19		1,5	14,4	23,4	334	380	949	—	—	—
		27		1,5	17,9	26,9	485	544	1188	—	—	—
		37		1,7	19,7	28,7	612	672	1371	—	—	—
		52		1,7	24,7	33,7	820	918	1837	—	—	—
		61		1,7	26,0	35,0	969	1075	2171	—	—	—
Медь	1,0	4	0,6	1,5	9,3	17,5	129	151	453	—	—	—
		5		1,5	9,9	18,1	147	172	496	—	—	—
		7		1,5	10,6	18,8	166	194	642	—	—	—
		10		1,5	13,4	22,4	234	269	793	—	—	—
		14		1,5	13,8	22,8	295	331	884	—	—	—
		19		1,5	15,2	24,2	368	407	967	—	—	—
		27		1,7	18,8	27,8	582	632	1239	—	—	—
		37		1,7	20,8	29,8	690	744	1476	—	—	—
		52		1,7	26,1	35,1	893	957	2010	—	—	—
		61		1,7	27,5	36,5	1065	1145	2371	—	—	—
Медь	1,5	4	0,6	1,5	9,8	18,0	143	157	504	—	—	—
		5		1,5	10,5	18,7	174	193	640	—	—	—
		7		1,5	11,3	20,1	209	234	705	—	—	—
		10		1,5	13,8	22,8	286	318	871	—	—	—
		14		1,5	14,9	23,9	372	414	967	—	—	—
		19		1,5	16,4	25,4	454	502	1083	—	—	—

Продолжение табл. 4-12

Токопроводящая жила		Изолированные жилы		Толщина оболочки, мм	Наружный диаметр, мм		Расчетная масса, кг/км					
Материал	Сечение, мм²	Число	Толщина, мм		КПсВГ КПсВГЭ АКПсВГ АКПсВГЭ	КПСВБ, АКПсВБ	КПсВГ	КПсВГЭ	КПсВБ	АКПсВГ	АКПсВГЭ	АКПсВБ
Медь		27		1,7	20,4	29,4	665	724	1236	—	—	—
		37		1,7	22,5	31,5	863	929	1652	—	—	—
		52		1,7	30,2	39,2	1169	1248	2031	—	—	—
		61		1,7	31,7	40,7	1357	1491	1576	—	—	—
Медь, алюминий	2,5	4	0,6	1,5	10,8	19,0	187	207	686	132	152	602
		5		1,5	11,6	19,8	229	254	761	154	179	652
		7		1,5	12,5	20,6	281	311	824	170	201	696
		10		1,5	15,3	24,3	380	415	1032	249	284	906
		14		1,5	16,6	25,6	473	513	1158	294	333	1026
		19		1,7	18,3	27,3	607	657	1335	365	415	1121
		27		1,7	23,7	32,7	898	968	1704	499	569	1327
		37		1,7	26,2	35,2	1164	1249	2136	670	755	1576
Медь, алюминий	4,0	4	0,6	1,5	12,4	20,6	238	263	770	161	187	526
		7		1,5	13,8	22,8	361	396	945	227	262	767
		10		1,5	17,3	26,3	490	537	1177	331	378	977
Медь, алюминий	6,0	4	0,6	1,5	12,6	21,6	334	359	875	197	221	714
		7		1,5	14,1	23,1	475	515	1117	284	324	870
		10		1,5	17,6	26,6	683	764	1271	415	476	1018
Алюминий	10,0	4	0,8	1,5	17,5	26,5	—	—	—	289	338	896
		7		1,7	21,9	30,9	—	—	—	433	502	1132
		10		1,9	28,7	37,7	—	—	—	681	764	1566

Примечания: 1. Обмотка лентами выполняется одной лентой из полиамидной, полиэтилентерефталатной или поливинилхлоридной пленки, телефонной или кабельной бумаги (по скрученным жилам).

2. Экран в кабелях КПсВГ, КПсВБ, АКПсВГ и АКПсВГЭ отсутствует, в КПсВГЭ и АКсПВГЭ — обмотка медной фольгой или лентой толщиной 0,06 мм (допускается продольное наложение медной проволоки и обмотка алюминиевой фольгой).

3. Броня в кабелях КПсВГ, КПсВГЭ, АКПсВГ и АКПсВГЭ отсутствует, в КПсВБ и АКПсВБ — две стальные ленты.

4. Наружный покров в кабелях КПсВГ, КПсВГЭ, АКПсВБЭ и АКПсВБЭ отсутствует, в КПсВБ и АКПсВБ — битумно-волокнистый.

Таблица 4-13

Токопроводящая жила		Изолированные жилы		Толщина оболочки, мм	Наружный диаметр, мм		Расчетная масса, кг/км			
Материал	Сечение, мм²	Число	Толщина изоляции, мм		КВсВБГ, КПсВБГ, АКПсВБГ, АКПсВБГц	АКПсВБбГ, КПсВБбГ	КПсВБГ, КПсВБГц	АКПсВБГ, АКПсЗБГц	КПсВБбГ	АКПсВБбГ
Медь	0,75	4	0,6	1,5	14,1	17,4	357	—	379	—
		5		1,5	14,6	17,9	385	—	411	—
		7		1,5	15,3	18,6	413	—	437	—
		10		1,5	18,9	22,2	622	—	638	—
		14		1,5	19,2	21,7	694	—	701	—
		19		1,5	20,5	23,0	780	—	788	—
		27		1,5	24,0	26,5	985	—	994	—
		37		1,7	25,8	28,3	1041	—	1052	—
		52		1,7	30,7	33,2	1416	—	1433	—
		61		1,7	32,0	34,5	1654	—	1676	—
Медь	1,0	4	0,6	1,5	14,5	17,8	377	—	394	—
		5		1,5	15,1	18,4	412	—	431	—
		7		1,5	16,6	19,9	539	—	565	—
		10		1,5	19,5	22,0	699	—	706	—
		14		1,5	19,9	22,4	791	—	798	—
		19		1,5	21,3	23,8	925	—	935	—
		27		1,7	24,9	27,4	1194	—	1206	—
		37		1,7	26,9	29,4	1463	—	1480	—
		52		1,7	32,2	34,7	1978	—	1998	—
		61		1,7	33,6	36,1	2320	—	2343	—
Медь	1,5	4	0,6	1,5	15,0	18,3	398	—	427	—
		5		1,5	16,5	19,8	534	—	564	—
		7		1,5	17,3	20,6	590	—	623	—
		10		1,5	19,9	22,4	754	—	761	—
		14		1,5	21,0	23,5	862	—	871	—
		19		1,5	22,5	25,0	1016	—	1026	—

Токопроводящая жила		Изолированные жилы		Толщина оболочки, мм	Наружный диаметр, мм		Расчетная масса, кг/км			
Материал	Сечение, мм²	Число	Толщина изоляции, мм		КВсВБГ, КПсВБГ, АКПсВБГ, АКПсВБГц	АКПсВБбГ, КПсВБбГ	КПсВБГ, КПсВБГц	АКПсВБГ, АКПсВБГц	КПсВБбГ	АКПсВБбГ
Медь		27		1,7	26,5	29,0	1253	—	1267	—
		37		1,7	28,6	31,1	1529	—	1546	—
		52		1,7	34,3	36,8	1976	—	1991	—
		61		1,7	35,8	38,3	2305	—	2328	—
Медь, алюминий	2,5	4	0,6	1,5	16,8	20,1	521	456	542	477
		5		1,5	17,6	20,9	610	500	634	524
		7		1,5	18,5	21,8	668	537	697	566
		10		1,5	21,4	23,9	832	728	841	737
		14		1,5	22,7	25,2	959	835	972	847
		19		1,7	24,4	26,9	1137	996	1152	1011
		27		1,7	29,8	32,3	1536	1276	1550	1290
		37		1,7	32,3	34,8	1824	1532	1843	1551
Медь, алюминий	4,0	4	0,6	1,5	18,5	21,8	604	534	629	559
		7		1,5	19,9	22,4	793	707	802	716
		10		1,5	23,4	25,9	1039	875	1051	886
Медь, алюминий	6,0	4	0,6	1,5	18,7	22,0	789	706	824	731
		7		1,5	20,2	22,7	952	870	961	879
		10		1,5	23,7	26,2	1246	1098	1257	1109
Алюминий	10,0	4	1,0	1,5	24,6	27,1	—	896	—	905
		7		1,7	29,2	31,7	—	1132	—	1142
		10		1,9	36,4	38,9	—	1566	—	1579

Примечания: 1. Обмотка лентами выполняется одной лентой из полиамидной, полиэтилентерефталатной или поливинилхлоридной пленки; телефонной или кабельной бумаги (по скрученным жилам).

2. Броня в кабелях КПсВБГ и АКПсВБГ — две стальные ленты с противокоррозионным покрытием, в КПсВБбГ и АКПсВБбГ — профилированная стальная оцинкованная лента, в КПсВБГц и АКПсВБГц — две стальные оцинкованные ленты.

Таблица 4-14

Токопроводящая жила		Изолированные жилы		Наружный диаметр, мм		Расчетная масса, кг/км		
Материал	Сечение, мм²	Число	Толщина изоляции, мм	КПсБбШв, АКПсБбШв	КПсПбШв	КПсБбШв	КПсПбШв	АКПсБбШв
Медь	0,75	4	0,6	14,5	—	365	—	—
		5		15,0	—	395	—	—
		7		15,8	—	433	—	—
		10		19,3	25,3	652	1503	—
		14		19,6	25,6	734	1764	—
		19		20,9	26,9	820	1943	—
		27		24,4	30,4	1035	2439	—
		37		26,2	32,2	1112	2642	—
		52		31,1	—	1516	—	—
		61		32,4	—	1758	—	—
Медь	1,0	4	0,6	14,9	—	388	—	—
		5		15,5	—	422	—	—
		7		17,0	—	559	—	—
		10		19,9	25,9	729	1769	—
		14		20,3	26,3	831	1931	—
		19		21,7	27,7	975	2165	—
		27		25,3	31,3	1264	2734	—
		37		27,3	33,3	1553	3183	—
		52		32,6	—	2076	—	—
		61		34,0	—	2427	—	—
Медь	1,5	4	0,6	15,4	—	407	—	—
		5		16,9	—	544	—	—
		7		17,7	—	612	—	—
		10		20,3	26,3	785	1855	—
		14		21,4	27,4	904	2064	—
		19		22,9	28,9	1067	2349	—

Продолжение табл. 4-14

Токопроводящая жила		Изолированные жилы		Наружный диаметр, мм		Расчетная масса, кг/км		
Материал	Сечение, мм²	Число	Толщина изоляции, мм	КПсБбШв, АКПсБбШв	КПсПбШв	КПсБбШв	КПсПбШв	АКПсБбШ
Медь		27		26,9	32,9	1324	2931	—
		37		29,0	35,0	1618	3364	—
		52		34,7	—	2072	—	—
		61		36,2	—	2412	—	—
Медь, алюминий	2,5	4	0,6	17,2	—	533	—	461
		5		18,0	—	625	—	552
		7		18,9	24,9	687	1636	607
		10		21,8	27,8	865	2061	733
		14		23,1	29,1	1002	2307	875
		19		24,8	30,8	1199	2626	1062
		27		30,2	36,2	1621	3384	1398
		37		32,7	38,7	1930	3990	1576
Медь, алюминий	4,0	4	0,6	18,9	—	618	—	439
		7		20,4	26,4	821	1904	644
		10		23,8	29,8	1096	2445	912
Медь, алюминий	6,0	4	0,6	19,1	—	816	—	603
		7		20,6	26,6	981	2078	775
		10		24,1	30,1	1298	2664	940
Алюминий	10,0	4	0,8	25,0	—	—	—	874
		7		29,6	—	—	—	1082
		10		36,8	—	—	—	1324

Примечания: 1. Обмотка лентами выполняется из двух лент полиамидной, полиэтилентерефталатной или поливинилхлоридной пленки; поверх них две ленты крепированной бумаги (по скрученным жилам).

2. Броня в кабелях КПсБбШв и АКПсБбШв — две стальные ленты, в КПсПбШв — круглые стальные оцинкованные проволоки.

3. Наружный покров выполняется в виде шланга из поливинилхлоридного пластиката.

Таблица 4-15

Сечение токопроводящей жилы, мм	Изолированные жилы: Число	Толщина изоляции, мм: КПВБ	Толщина изоляции, мм: КФР	Толщина оболочки, мм: КПВБ	Толщина оболочки, мм: КФР	Наружный диаметр, мм, не более: КПВБ	Наружный диаметр, мм, не более: КФР	Расчетная масса, кг/км: КПВБ	Расчетная масса, кг/км: КФР
1	24	0,4	—	1,2	—	22,0	—	541	—
	37	0,4	—	1,2	—	24,3	—	721	—
	52	—		1,5	—	28,1	—	971	—
1,5	3	—	0,5	—	1,5	—	8,5	—	44,3
	5	—	0,5	—	1,5	—	9,9	—	53,2
	7	—	0,5	—	1,5	—	10,7	—	58,2
	12	0,4	0,5	—	1,8	—	14,2	—	94,2
	19	—	0,5	—	2,0	—	16,8	—	125,0
	24	0,4	—	1,2	—	23,6	—	679	—
	37	0,4	—	1,5	—	26,8	—	949	—
	52	0,4	—	1,7	—	31,4	—	1310	—
2,5	24	—	—	1,5	—	28,4	—	1013	—
	37	0,5	—	1,7	—	32,7	—	1465	—
	52	—	—	1,9	—	37,6	—	1972	—

Примечания: 1. Материал изоляции жил для КПВБ полиэтилен высокой плотности, для КФР фторопласт-40Ш.

2. Материал оболочки для КПВБ—полиэтилен низкой плотности, для КФР—кремнийорганическая резина.

3. Броня в КПВБ — профилированная стальная оцинкованная лента или лента из сплава АМЦ.

4. Наружный покров в КФР отсутствует, в КПВБ — шланг из поливинилхлоридного пластиката.

Таблица 4-16

Параметр	Кабели контрольные: с полиэтиленовой изоляцией	с резиновой изоляцией	с ПВХ изоляцией	КПВБ	КФР
Электрическое сопротивление изоляции в нормальных условиях, МОм·км, не менее	250	50	5	1000	50
Испытательное напряжение частоты 50 Гц, В:					
в состоянии поставки		2500		1500	2000
на протяжении срока службы		1500		Не нормируется	Не нормируется

Таблица 4-17

Параметр	Кабели контрольные				
	бронированные в свинцовой оболочке	небронированные в свинцовой оболочке	прочие	КПЗБ	КФР
Радиус изгиба при монтаже, не менее кратности по отношению к наружному диаметру кабеля	12	10	7	5	5
Изгибы при эксплуатации	Не допускаются				100 двойных перегибов

Таблица 4-18

Параметр	Кабели контрольные				
	с ПВХ изоляцией	с полиэтиленовой или резиновой изоляцией		КПВВ	КФР
	в ПВХ оболочке, без наружного покрова и в ПВХ шланге		прочие		
Температура окружающей среды, °С	—50—+50			—50 +50	—50 +150
Предельно допустимая температура жилы, °С	70	65	65	70	150
Предельно допустимая влажность окружающей среды	98% при температуре до 40 °С			98% при температуре до 40 °С	
Стойкость к воздействию химически агрессивных сред	Стойки		Не стойки	Стойки	Не стойки
Стойкость к вибрационным нагрузкам	Не нормирована			Частота 5—600 Гц, ускорение до 10 g	Не нормирована
Стойкость к многократным ударам	Не нормирована			Ускорение до 35 g	Не нормирована
Стойкость к одиночным ударам	Не нормирована			Ускорение до 150 g	Не нормирована
Срок службы	12 лет				

Глава пятая

ОСНОВНАЯ НОМЕНКЛАТУРА И ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КАБЕЛЕЙ УПРАВЛЕНИЯ

5-1. ОСНОВНЫЕ ГРУППЫ КАБЕЛЕЙ УПРАВЛЕНИЯ

Как указывалось выше, основным классификационным признаком, определяющим выбор проводниковых, изоляционных и защитных материалов для кабелей управления, является класс нагревостойкости. По этому параметру все существующие кабели делятся на две группы — кабели нормальной и повышенной нагревостойкости.

Кабели управления нормальной нагревостойкости являются кабелями массового применения и по номенклатуре и валовому выпуску составляют подавляющее большинство кабелей этого типа. К числу основных конструкций кабелей управления этой группы относятся: а) кабели с резиновой изоляцией и оболочкой; б) кабели с изоляцией из полиэтилена высокой плотности и оболочками из резины и поливинилхлоридного пластиката; в) кабели с изоляцией и оболочкой из поливинилхлоридных пластикатов; г) кабели с комбинированной изоляцией из полиэтилена и капрона и резиновой оболочкой.

Кабели с резиновой изоляцией и оболочкой в основном применяются для подвижной эксплуатации. Основными преимуществами этих кабелей являются максимальная гибкость, доступность исходных материалов и сравнительно малая стоимость; к недостаткам следует отнести повышенные габариты и массу, малую стойкость к продавливающим нагрузкам и недостаточную надежность.

Кабели с полиэтиленовой изоляцией могут применяться как для фиксированной прокладки, так и для подвижной эксплуатации. В первом случае используются кабели с оболочкой из поливинилхлоридного пластиката, во втором — с оболочкой из резины. Кабели этого типа отличаются минимальными габаритами и массой, высокими электрическими характеристиками и большим сроком службы. Вместе с тем эти кабели весьма чувствительны к технологическим, монтажным и эксплуатационным перегревам, обладают недостаточной стойкостью к продавливанию и распространяют горение.

Кабели с изоляцией и оболочкой из поливинилхлоридных пластикатов применяются в основном для неподвижной прокладки в пожароопасных помещениях при наличии контакта с техническими маслами, бензином и другими агрессивными средами. К недостаткам этих кабелей относятся сравнительно низкие электрические характеристики, малая стойкость к продавливающим нагрузкам и ограниченная холодостойкость. Наиболее надежной конструкцией кабелей управления нормальной нагревостойкости, не имеющей практически существенных недостатков, является конструкция с комбинированной изоляцией из полиэтилена и капрона и резиновой оболочкой. Эти кабели обладают повышенными электрическими характеристиками, гибкостью, холодостойкостью, стойкостью к продавливающим нагрузкам, большим сроком службы и могут применяться для подвижной эксплуатации в сложных атмосферных условиях.

Кабели с изоляцией из фторопласта-40Ш с резиновой оболочкой в основном применяются для неподвижной прокладки. Ввиду дефицитности и высокой стоимости фторопласта эти кабели используются в ограниченных количествах для специальных целей в случаях, когда по условиям эксплуатации они должны выдерживать кратковременные одноразовые перегревы до +200 °С.

Кабели управления повышенной нагревостойкости применяются для специальных целей и используются в ограниченных количествах в тех случаях, когда окружающая температура находится в пределах 100—250 °С.

Для подвижной эксплуатации используются кабели с изоляцией и оболочкой из кремнийорганической резины. Эти кабели обладают исключительной гибкостью, легкостью, высокими электрическими

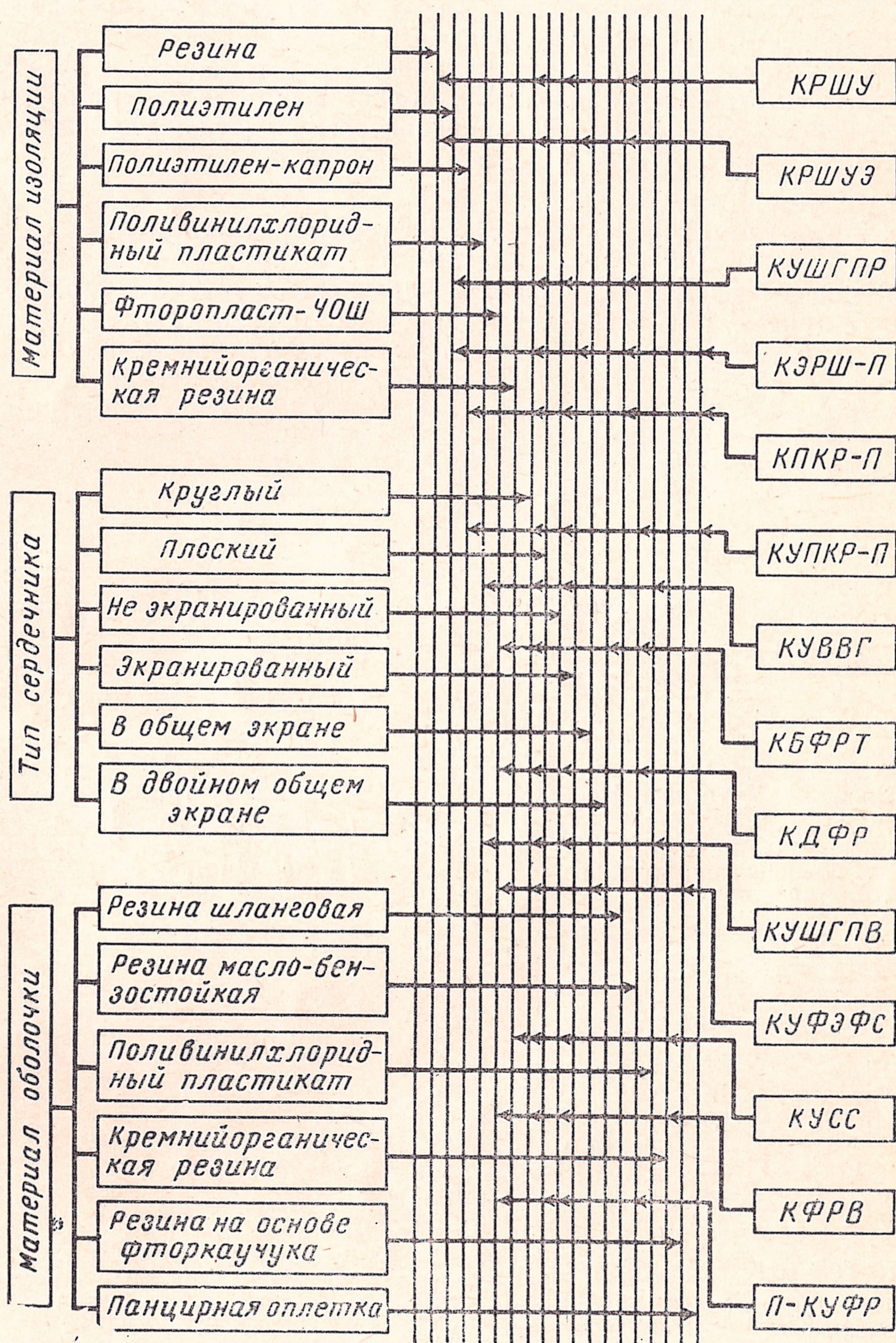


Рис. 5-1. Схема классификации кабелей.

характеристиками и технологичностью. Однако они имеют недостаточную механическую прочность, малую стойкость к продавливанию и распространяют горение.

Для неподвижной прокладки используются кабели с изоляцией из теплостойких пластмасс (фторопласт-40Ш и фторопласт-4) с оболочками из кремнийорганической резины и резины на основе фторкаучуков. Кабели с оболочкой из кремнийорганической резины обладают повышенными холодостойкостью и технологичностью. Однако они распространяют горение, имеют малые механическую прочность и стойкость к агрессивным средам. Поэтому более предпочтительными являются кабели с оболочками из резин на основе фторкаучуков, несмотря на их низкую холодостойкость и меньшую технологичность. Общая классификационная схема кабелей управления приведена на рис. 5-1.

5-2. ТЕХНИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ КАБЕЛЕЙ УПРАВЛЕНИЯ

Технические параметры кабелей управления приведены в табл. 5-1—5-17 (рис. 5-2—5-17). Данные, приведенные в этих таблицах, включают существующую номенклатуру кабелей управления, конструктивные размеры и расчетные массы, а также сведения по электрическим, механическим, климатическим и другим параметрам этих кабелей.

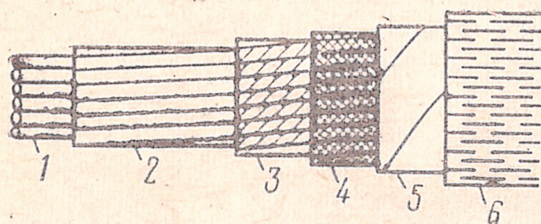


Рис. 5-2. К табл. 5-1.

1 — токопроводящие жилы; *2* — изолированные жилы; *3* — обмотка; *4* — экранированные жилы; *5* — обмотка; *6* — оболочка.

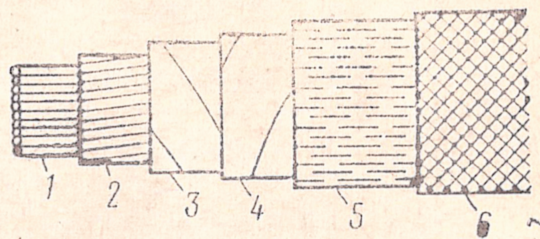


Рис. 5-3. К табл. 5-2.

1 — токопроводящие жилы; *2* — изолированные жилы; *3* — 1-я обмотка; *4* — 2-я обмотка; *5* — оболочка; *6* — панцирная броня.

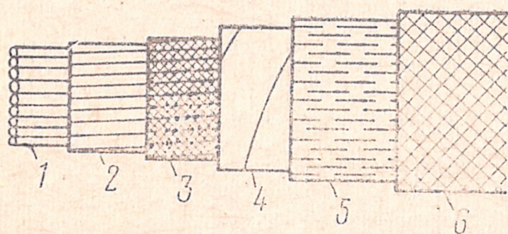


Рис. 5-4. К табл. 5-3.

1 — токопроводящие жилы; *2* — изолированные жилы; *3* — экранированные жилы; *4* — обмотка; *5* — оболочка; *6* — панцирная броня.

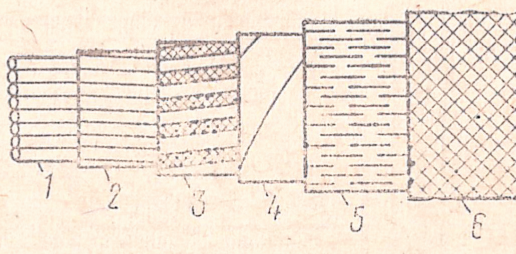


Рис. 5-5. К табл. 5-4.

1 — токопроводящие жилы; *2* — изолированные жилы; *3* — экранированные и неэкранированные жилы; *4* — обмотка; *5* — оболочка; *6* — панцирная броня.

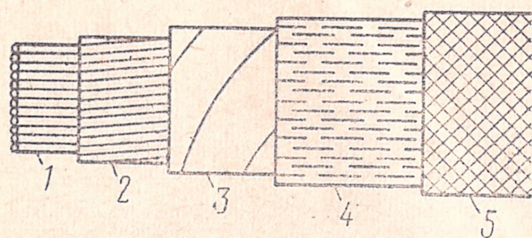


Рис. 5-6. К табл. 5-5.

1 — токопроводящие жилы; 2 — изолированные жилы; 3 — обмотка; 4 — оболочка; 5 — панцирная броня.

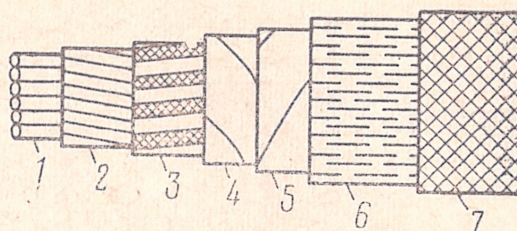


Рис. 5-7. К табл. 5-6.

1 — токопроводящие жилы; 2 — изолированные жилы; 3 — экранированные и неэкранированные жилы; 4 — 1-я обмотка; 5 — 2-я обмотка; 6 — оболочка; 7 — панцирная броня.

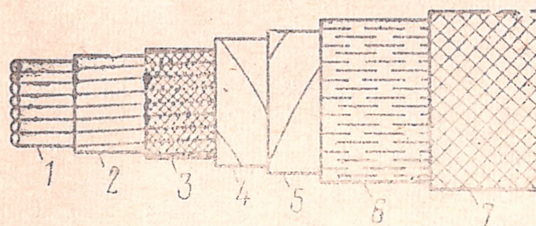


Рис. 5-8. К табл. 5-7.

1 — токопроводящие жилы; 2 — изолированные жилы; 3 — экранированные жилы; 4 — 1-я обмотка; 5 — 2-я обмотка; 6 — оболочка; 7 — панцирная броня.

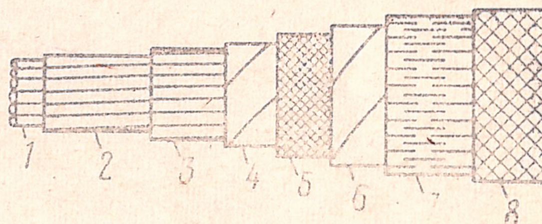


Рис. 5-9. К табл. 5-8.

1 — токопроводящие жилы; 2, 3 — изолированные жилы; 4 — 1-я обмотка; 5 — экран; 6 — 2-я обмотка; 7 — оболочка; 8 — панцирная броня.

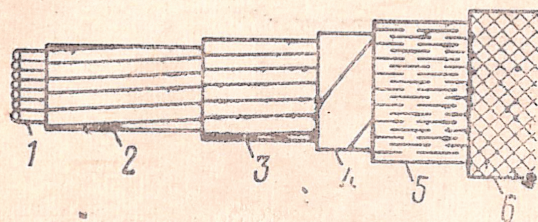


Рис. 5-10. К табл. 5-9.

1 — токопроводящие жилы; 2, 3 — изолированные жилы; 4 — обмотка; 5 — оболочка; 6 — панцирная броня.

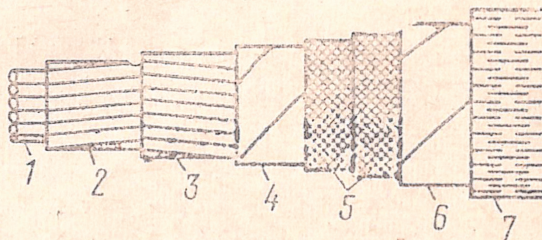


Рис. 5-11. К табл. 5-10.

1 — токопроводящие жилы; 2 — изолированные жилы; 3 — экранированные жилы; 4 — обмотка; 5 — двойной экран; 6 — обмотка; 7 — оболочка.

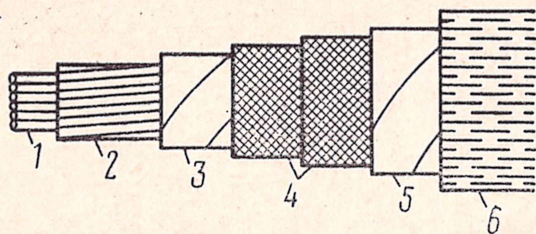


Рис. 5-12. К табл. 5-11.

1 — токопроводящие жилы; *2* — изолированные жилы; *3* — обмотка; *4* — двойной экран; *5* — обмотка; *6* — оболочка.

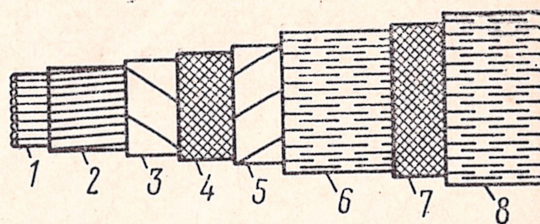


Рис. 5-13. К табл. 5-12.

1 — токопроводящие жилы; *2* — изолированные жилы; *3* — обмотка; *4* — экран; *5* — обмотка; *6* — 1-я внутренняя оболочка; *8* — 2-я наружная оболочка.

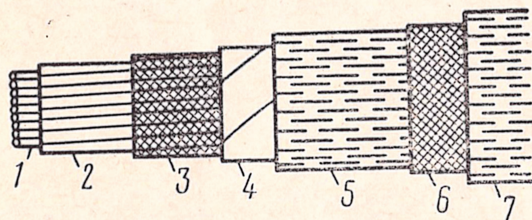


Рис. 5-14. К табл. 5-13.

1 — токопроводящие жилы; *2* — изолированные жилы; *3* — экранированные жилы; *4* — обмотка; *5* — 1-я внутренняя оболочка; *6* — оплетка; *7* — 2-я наружная оболочка.

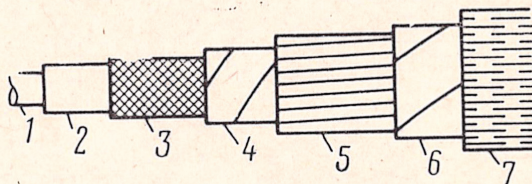


Рис. 5-15. К табл. 5-14.

1 — токопроводящая жила; *2* — изолированная жила; *3* — экран; *4* — обмотка; *5* — изолированные жилы; *6* — обмотка; *7* — оболочка.

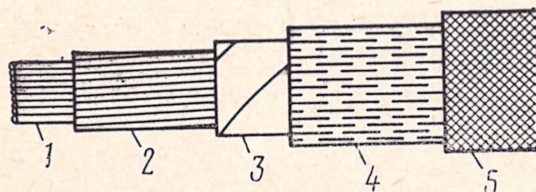


Рис. 5-16. К табл. 5-14.

1 — токопроводящие жилы; *2* — изолированные жилы; *3* — обмотка; 4 — оболочка; *5* — лакированная оплетка.

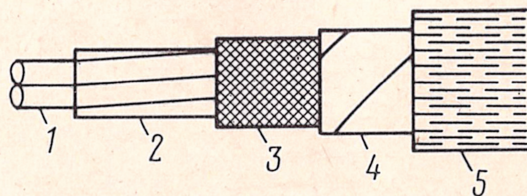


Рис. 5-17. К табл. 5-15.

1 — токопроводящие жилы; *2* — изолированные жилы; *3* — экран; *4* — обмотка; *5* — оболочка.

Таблица 5-1

Марка кабеля	Сечение жил, мм²	Число жил	Толщина изоляции	Толщина оболочки, мм	Наружный диаметр кабеля, мм	Расчетная масса, кг/км
КРШУ	1,0	4	0,8	2,0	11,6	200
		7	0,8	2,0	13,3	280
		10	0,8	2,5	17,2	430
		12	0,8	2,5	17,6	480
		16	0,8	2,5	19,2	590
		19	0,8	2,5	20,1	680
		24	0,8	2,5	23,0	840
		27	0,8	2,5	23,4	910
		37	0,8	2,5	25,9	1180
КРШУЭ	1,0	4	0,9	2,0	15,0	300
		7	0,9	2,0	17,5	470
		10	0,9	2,5	22,8	650
		12	0,9	2,5	23,4	750
		16	0,9	2,5	25,8	940
		19	0,9	2,5	27,1	1080
		24	0,9	2,5	31,4	1340
		27	0,9	2,5	32,0	1480
		37	0,9	2,5	35,7	1940

Примечания: 1. Материал изоляции—резина и прорезиненная тканевая лента.
2. Материал экрана — медная луженая проволока.
3. Материал обмотки — прорезиненная тканевая лента.
4. Материал оболочки—резина.

Таблица 5-2

Марка кабеля	Сечение жил, мм²	Число жил	Толщина изоляции, мм	Толщина оболочки, мм	Диаметр по оболочке, мм	Наружный диаметр кабеля, мм	Расчетная масса, кг/км		
							КУШГПВ	КУШГПВ-П КУШГПВ-Пн	КУШГПВ-Пм
КУШГПВ, КУШГПВ-П, КУШГПВ-Пн, КУШГПВ-Пм	0,35	7	0,30	1,4	7,2	8,4	68	114	122
		14	0,30	1,4	9,2	10,4	113	174	185
		19	0,30	1,4	10,0	11,2	141	204	212
		24	0,30	1,4	11,4	12,6	173	234	244
		37	0,30	1,4	12,8	14,0	242	314	326
		52	0,30	1,7	15,4	16,6	343	424	438
		61	0,30	1,7	16,2	17,4	390	477	492
		91	0,30	1,9	19,4	20,6	566	670	689
		108	0,30	2,1	21,5	22,7	676	790	810
	0,5	7	0,30	1,4	7,5	8,7	78,7	125	133
		14	0,30	1,4	9,7	10,9	134	195	205
		19	0,30	1,4	10,5	11,7	168	229	239
		24	0,30	1,4	12,0	13,2	206	272	283

Марка кабеля	Сечение жил, мм²	Число жил	Толщина изоляции, мм	Толщина оболочки, мм	Диаметр по оболочке, мм	Наружный диаметр кабеля, мм	Расчетная масса, кг/км		
							КУШГПВ	КУШГПВ-П, КУШГПВ-Пн	КУШГПВ-Пм
КУШГПВ, КУШГПВ-П, КУШГПВ-Пн, КУШГПВ-Пм	0,5	37	0,30	1,4	13,5	14,7	292	368	381
		52	0,30	1,7	16,3	17,5	412	500	515
		61	0,30	1,7	17,1	18,3	473	565	582
		91	0,30	2,1	20,9	22,1	706	819	839
		108	0,30	2,1	22,7	23,9	822	944	965

Примечания: 1. Материал изоляции—полиэтилен.
2. Материал обмотки — полиамидная пленка.
3. Материалы панцирной брони: *1* — стальная оцинкованная проволока, *2* — нержавеющая стальная проволока, *3* — медная луженая проволока.
4. Материал оболочки—поливинилхлоридный пластикат.

Таблица 5-3

Марка кабеля	Сечение жил, мм²	Число жил	Толщина изоляции, мм	Толщина оболочки, мм	Диаметр по оболочке, мм	Наружный диаметр кабеля, мм	Расчетная масса, кг/км		
							КЭВШ	КЭВШ-П КЭВШ-Пн	КЭВШ-Пм
КЭВШ, КЭВШ-П, КЭВШ-Пн, КЭВШ-Пм	0,35	7	0,45	1,4	9,6	10,8	86,1	148	159
		14	0,45	1,4	12,9	14,1	230	297	308
		19	0,45	1,4	14,2	15,4	295	369	382
		24	0,45	1,7	17,0	18,2	385	474	489
		37	0,45	1,9	19,8	21,0	533	634	652
		52	0,45	2,1	23,5	24,7	791	910	931
	0,5	7	0,45	1,4	9,9	11,1	140	201	211
		14	0,45	1,4	13,3	14,5	251	324	336
		19	0,45	1,7	15,3	16,5	342	420	434
		24	0,45	1,7	17,6	18,8	421	515	531
		37	0,45	1,9	20,5	21,7	627	735	753
		52	0,45	2,1	24,3	25,5	870	997	1019

Примечания: 1. Материал изоляции —полиэтилен.
2. Материал экрана — медная луженая проволока.
3. Материал обмотки — полиамидная пленка.
4. Материалы панцирной брони: *1* — стальная оцинкованная проволока, *2* — нержавеющая стальная проволока, *3* — медная луженая проволока.
5. Материал оболочки—поливинилхлоридный пластикат.

Таблица 5-4

Марка кабеля	Сечение жил, мм²	Число жил	Толщина изоляции, мм	Число экранированных жил	Толщина оболочки, мм	Диаметр по оболочке, мм	Наружный диаметр кабеля, мм	Расчетная масса, кг/км		
								КЭВШ	КЭВШ-П КЭВШ-Пн	КЭВШ-Пм
КЭВШ, КЭВШ-П, КЭВШ-Пн, КЭВШ-Пм	0,35	16	0,30	9	1,4	11,8	13,0	199	259	270
		25	0,30	11	1,4	13,9	15,1	270	345	358
		31	0,30	14	1,7	16,9	18,1	389	469	483
		38	0,30	24	1,7	17,0	18,2	421	501	515
		45	0,30	15	1,7	17,5	18,7	432	515	529
		51	0,30	32	2,1	20,8	22,0	651	749	765
		62	0,30	18	1,9	20,2	21,4	569	666	683
		66	0,30	36	2,1	22,9	24,1	745	851	879
		76	0,30	57	2,1	25,4	26,6	955	1073	1094
		81	0,30	20	2,1	22,0	23,2	703	808	826
		90	0,30	63	2,3	27,5	28,7	1102	1231	1254
		103	0,30	23	2,1	24,1	25,3	848	960	980
		107	0,30	46	2,3	27,0	28,2	1165	1293	1316
		115	0,30	24	2,1	24,9	26,1	919	1036	1057
	0,5	16	0,30	9	1,4	12,3	13,5	229	284	294
		25	0,30	11	1,7	15,2	16,4	325	401	414
		38	0,30	14	1,7	17,7	18,9	443	536	553
		31	0,30	24	1,7	17,7	19,9	467	561	577
		45	0,30	15	1,9	18,7	19,9	512	607	623
		51	0,30	32	2,1	21,7	22,9	701	805	823
		62	0,30	18	2,1	21,6	22,8	674	778	796
		66	0,30	36	2,1	23,9	25,1	841	952	972
		76	0,30	57	2,3	26,9	28,1	1088	1216	1238
		81	0,30	20	2,1	23,1	24,3	815	925	945
		90	0,30	63	2,3	28,7	29,9	1233	1366	1389
		103	0,30	23	2,1	25,3	26,5	991	1109	1130
		107	0,30	46	2,3	28,3	29,5	1216	1348	1371
		115	0,30	24	2,3	26,6	27,8	1099	1226	1249

Примечания: 1. Изоляция—полиэтилен.
2. Материал экрана —медная луженая проволока.
3. Материал обмотки — полиамидная пленка.
4. Материалы панцирной брони: *1* — стальная оцинкованная проволока, *2* — нержавеющая стальная проволока, *3* — медная луженая проволока.
5. Оболочка—поливинилхлоридный пластикат.

Таблица 5-5

Марка кабеля	Сечение жил, мм²	Число жил	Толщина изоляции, мм	Толщина оболочки, мм	Диаметр по оболочке, мм	Наружный диаметр кабеля, мм	Расчетная масса, кг/км		
							КУШГПР	КУШГПР-П КУШГПР-Пн	КУШГПР-Пм
КУШГПР. КУШГПР-П КУШГПР-Пн, КУШГПР-Пм	0,35	4	0,30	1,40	7,0	8,2	58	103	111
		7	0,30	1,60	8,2	9,4	85	132	140
		14	0,30	1,60	10,2	11,4	134	194	205
		19	0,30	1,60	11,0	12,2	164	224	235
		24	0,30	1,80	12,8	14,0	210	281	294
		30	0,30	1,80	13,4	14,6	242	315	328
		37	0,30	1,80	14,2	15,4	283	360	374
		52	0,30	2,00	16,6	17,8	385	477	493
		61	0,30	2,00	17,4	18,6	434	527	543
		91	0,30	2,20	20,6	21,8	619	727	746
		108	0,30	2,40	22,7	23,9	736	858	879
	0,5	4	0,30	1,40	7,3	8,5	64,8	110	118
		7	0,30	1,60	8,5	9,7	96,2	143	150
		14	0,30	1,60	10,7	11,9	155	216	227
		19	0,30	1,60	11,5	12,7	190	253	261
		24	0,30	1,80	13,4	14,6	245	317	330
		30	0,30	1,80	14,1	15,3	286	362	376
		37	0,30	2,00	15,3	16,5	348	428	442
		52	0,30	2,00	17,5	18,7	458	551	567
		61	0,30	2,20	18,7	19,9	536	635	652
		91	0,30	2,40	22,1	23,3	763	879	899
		108	0,30	2,40	23,9	25,1	884	1009	1031

Продолжение табл. 5-5

Марка кабеля	Сечение жил, мм²	Число жил	Толщина изоляции, мм	Толщина оболочки, мм	Диаметр по оболочке, мм	Наружный диаметр кабеля, мм	Расчетная масса, кг/км		
							КУШГПР	КУШГПР-П, КУШГПР-Пн	КУШГПП-Пм
КУШГПР, КУШГПР-П, КУШГПР-Пн, КУШГПР-Пм	0,75	4	0,40	1,60	8,6	9,8	92	141	148
		7	0,40	1,60	9,8	11,0	128	183	192
		14	0,40	1,80	12,8	14,0	226	300	312
		19	0,40	1,80	14,0	15,2	283	372	387
		24	0,40	2,0	16,3	17,5	360	455	471
		30	0,40	2,0	17,1	18,3	423	520	536
		37	0,40	2,2	18,6	19,8	513	624	643
	1,0	4	0,42	1,60	9,1	10,3	103	157	165
		7	0,42	1,60	10,3	11,5	150	217	228
		14	0,42	1,80	13,7	14,9	268	346	358
		19	0,42	2,0	15,4	16,5	351	445	460
		24	0,42	2,0	17,4	18,7	428	527	543
		30	0,42	2,2	18,7	19,9	524	642	661
		37	0,42	2,2	20,0	21,2	618	740	760
	1,5	4	0,40	1,60	9,8	11,0	134	190	200
		7	0,40	1,60	11,2	12,4	197	265	276
		14	0,40	2,0	15,5	16,7	372	466	481
		19	0,40	2,0	16,8	18,1	471	568	584
		24	0,40	2,2	19,7	20,8	597	718	738
		30	0,40	2,2	20,7	21,9	711	838	859
		37	0,40	2,4	22,5	23,7	864	995	1016

Примечания: 1. Оболочка—резина.
2. Материалы обмотки: *1*—полиамидная пленка, *2*—прорезиненная тканевая пленка.
3. Материалы панцирной брони: *1*—стальная оцинкованная проволока, *2*—нержавеющая стальная проволока, *3*—медная луженая проволока.
4. Изоляция—полиэтилен.

Таблица 5-6

Марка кабеля	Сечение жил, мм²	Общее число жил	Толщина изоляции	Число экранированных жил	Толщина оболочки, мм	Диаметр по оболочке, мм	Наружный диаметр кабеля, мм	Расчетная масса, кг/км		
								КЭРШ	КЭРШ-П, КЭРШ-Пн	КЭРШ-Пм
КЭРШ КЭРШ-П КЭРШ-Пн КЭРШ-Пм	0,35	16	0,30	9	1,8	13,2	14,4	237	229	310
		25	0,30	11	2,0	15,7	16,9	328	404	417
		38	0,30	14	2,2	18,5	19,7	451	546	562
		31	0,30	24	2,2	18,6	19,8	483	578	594
		45	0,30	15	2,2	19,1	20,3	495	590	607
		51	0,30	32	2,4	22,0	23,2	681	785	803
		62	0,30	18	2,4	21,8	23,0	643	747	765
		66	0,30	36	2,4	24,1	25,3	808	920	940
		76	0,30	57	2,6	27,0	28,2	1048	1176	1198
		81	0,30	20	2,4	23,2	24,4	764	874	894
		90	0,30	63	2,4	28,3	29,5	1155	1287	1310
		103	0,30	23	2,4	25,3	26,5	915	1033	1054
		107	0,30	46	2,6	28,2	29,4	1141	1272	1295
		115	0,30	24	2,4	26,1	27,3	987	1107	1128
	0,5	16	0,30	9	1,8	13,7	14,9	263	327	339
		25	0,30	11	2,0	16,4	17,6	366	443	456
		38	0,30	14	2,2	19,3	20,5	508	604	620
		31	0,30	24	2,2	19,3	20,5	578	690	710
		45	0,30	15	2,2	19,9	21,1	563	658	675
		51	0,30	32	2,4	22,9	24,1	761	867	886
		62	0,30	18	2,4	22,8	24,0	734	840	859
		66	0,30	36	2,4	25,1	26,3	907	1029	1050
		76	0,30	57	2,6	28,1	29,3	1163	1294	1317
		81	0,30	20	2,4	24,3	25,5	879	991	1011
		90	0,30	63	2,6	29,9	31,1	1313	1456	1481
		103	0,30	23	2,4	26,5	27,7	1061	1188	1210
		107	0,30	46	2,6	29,5	30,7	1295	1437	1462
		115	0,30	24	2,6	27,8	29,0	1173	1304	1326

Примечания: 1. Изоляция—полиэтилен.
2. Материал экрана—медная луженая проволока.
3. Материал обмоток: 1—полиамидная пленки, 2—прорезиненная тканевая пленка.
4. Материалы панцирной брони: 1—стальная оцинкованная проволока, 2—нержавеющая стальная проволока, 3—медная луженая проволока.
5. Оболочка—резина.

Таблица 5-7

Марка кабеля	Сечение жил, мм²	Число жил	Толщина изоляции, мм	Толщина оболочки, мм	Диаметр по оболочке, мм	Наружный диаметр кабеля, мм	Расчетная масса, кг/км		
							КЭРШ	КЭРШ-П, КЭРШ-Пн	КЭРШ-Пм
КЭРШ, КЭРШ-П, КЭРШ-Пн, КЭРШ-Пм	0,35	4	0,45	1,6	9,3	10,5	106	168	178
		7	0,45	1,6	10,6	11,8	151	211	222
		14	0,45	1,8	14,3	15,5	271	348	361
		19	0,45	2,0	16,0	17,2	353	435	449
		24	0,45	2,2	18,6	19,8	447	542	558
		30	0,45	2,2	19,7	20,9	530	631	648
		37	0,45	2,2	21,0	22,2	623	732	750
		52	0,45	2,4	24,7	25,9	856	984	1006
	0,5	4	0,45	1,6	9,5	10,7	113	175	178
		7	0,45	1,6	10,9	12,1	162	224	234
		14	0,45	1,8	14,7	15,9	294	371	385
		19	0,45	2,0	16,5	17,7	384	467	484
		24	0,45	2,2	19,2	20,4	486	586	603
		30	0,45	2,2	20,3	21,5	577	684	703
		37	0,45	2,4	22,1	23,3	702	813	833
		52	0,45	2,4	25,5	26,7	937	1067	1090
	0,75	4	0,45	1,6	10,0	11,2	130	194	203
		7	0,45	1,6	11,5	12,7	189	257	268
		14	0,45	2,0	16,0	17,2	359	453	468
		19	0,45	2,0	17,5	18,7	450	549	565
	1,0	4	0,42	1,6	10,8	12,0	154	222	233
		7	0,42	1,6	12,4	13,6	228	298	309
		14	0,42	2,0	17,4	18,6	435	534	550
		19	0,42	2,2	19,4	20,6	568	686	706
	1,5	4	0,5	1,6	11,8	13,0	207	275	286
		7	0,5	1,8	14,0	15,2	328	418	432
		14	0,5	2,2	19,6	20,8	627	745	765
		19	0,5	2,4	21,9	23,1	824	951	972

Примечания: 1. Изоляция—политиэлен.
2. Материал экрана—медная луженая проволока.
3. Материалы обмотки: *1*—полиамидная пленка, *2*—прорезиненная тканевая лента.
4. Материалы панцирной брони: *1*—стальная оцинкованная проволока, *2*—нержавеющая стальная проволока, *3*—медная луженая проволока.
5. Оболочка—резина.

Таблица 5-8

Марка кабеля	Сечение жил, мм²	Число жил	Материал оболочки	Толщина оболочки, мм	Диаметр по оболочке, мм	Материал панцирной брони	Наружный диаметр кабеля, мм	Расчетная масса, кг/км	
								КПКР	КПКР-П
КПКР, КПКР-П	0,5	12	Резина ШБМ-45У	2,2	12,4	Медная луженая проволока	13,6	209	295
	0,75	4		2,0	9,5		10,7	119	185
		7		2,2	10,9		12,1	170	244

Примечания: 1. Изоляция—полиэтилен толщиной 0,25 мм.
2. Первая оболочка—капрон толщиной 0,1 мм.
3. Материал первой и второй обмоток—полиамидная пленка ПК-4.
4. Материал экрана—медная луженая проволока.

Таблица 5-9

Марка кабеля	Сечение жил, мм²	Число жил	Толщина оболочки, мм	Диаметр по оболочке, мм	Наружный диаметр кабеля, мм	Расчетная масса, кг/км
КУПКР	0,5	12	1,4	9,7	10,9	182
		37	1,5	14,6	15,8	400
	1,0	27	1,6	15,9	17,1	502

Примечания: 1. Изоляция—полиэтилен толщиной 0,25 мм.
2. Первая оболочка—капрон толщиной 0,1 мм.
3. Материал обмотки—полиамидная пленка ПК-4.
4. Материал панцирной брони—нержавеющая стальная проволока.

Таблица 5-10

Марка кабеля	Сечение жил, мм²	Число жил	Толщина изоляции, мм	Число экранированных жил	Толщина оболочки, мм	Наружный диаметр кабеля, мм	Расчетная масса, кг/км
КФШР	0,5	10	0,25	—	2,4	10,6	155
		19	0,25	—	2,5	12,2	235
		48	0,25	—	3,2	18,0	529
КФЭШР	0,20	24	0,25	7	2,4	12,6	233
	0,35	45	0,25	7	3,4	18,3	511
КФШЭР	0,20	10	0,25	—	2,4	10,9	170
	0,35	19	0,25	—	2,5	13,2	282

Примечания: 1. Изоляция—фторопласт-40 Ш.
2. Экран в кабелях КФШР отсутствует, в кабелях КФЭШР и КФШЭР—медная луженая проволока.
3. Материал обмотки—ориентированная пленка фторопласт-4.
4. Оболочка—резина.

Таблица 5-11

Марка кабеля	Сечение жил, мм	Число жил	Толщина изоляции, мм	Толщина оболочки, мм	Наружный диаметр кабеля, мм	Расчетная масса, кг/км
КБФРТ	0,5	12	0,30	2,0	12,3	282
		24	0,30	2,0	15,2	434
	0,75	4	0,30	1,5	8,8	147
		7	0,30	1,5	9,8	192

Примечание. 1. Изоляция—фторопласт-40 Ш.
2. Материал первой и второй обмоток—ориентированная пленка фторопласт-4.
3. Материал экрана—медная луженая проволока.
4. Материал оболочки—резина ШНН-45Л.

Таблица 5-12

Марка кабеля	Сечение жил, мм²	Число жил	Толщина изоляции, мм	Толщина оболочки, мм	Диаметр по 1-й оболочке, мм	Толщина оболочки, мм	Наружный диаметр кабеля, мм	Расчетная масса, кг/км
КДФР	0,20	3	0,30	1,2	5,2	1,4	8,5	82,1
		7	0,30	1,2	6,2	1,4	9,5	110
		12	0,30	1,2	7,6	1,4	10,9	147
		19	0,30	1,2	8,6	1,5	12,1	191
		27	0,30	1,4	10,6	1,5	14,1	236
		37	0,30	1,5	11,8	1,5	15,3	313
		52	0,30	1,5	13,6	1,5	17,1	399
	0,35	3	0,30	1,2	5,7	1,4	9,0	94
		7	0,30	1,2	6,8	1,4	10,1	130
		12	0,30	1,2	8,5	1,5	12,0	186
		19	0,30	1,4	10,0	1,5	13,5	252
		27	0,30	1,5	12,0	1,5	15,5	331
		37	0,30	1,5	13,2	1,5	16,1	405
		52	0,30	1,5	15,3	1,7	19,2	540
	1,0	61	0,4	1,8	23,0	2,0	27,5	1268
	1,5	3	0,4	1,2	7,8	1,5	11,3	167
		7	0,4	1,4	10,2	1,5	13,7	284
		12	0,4	1,5	13,2	1,5	16,7	428
		19	0,4	1,5	15,2	1,7	19,1	610
		27	0,4	1,6	18,3	1,8	22,4	835
		37	0,4	1,6	20,4	2,0	24,9	1084
		52	0,4	1,8	24,3	2,0	28,8	1467

Марка кабеля	Сечение жил, мм²	Число жил	Толщина изоляции, мм	Толщина оболочки, мм	Диаметр по 1-й оболочке, мм	Толщина оболочки, мм	Наружный диаметр кабеля, мм	Расчетная масса, кг/км
КДФЭР	0,20	3	0,30	1,2	6,1	1,4	9,4	107
		7	0,30	1,2	7,1	1,4	10,4	139
		12	0,30	1,2	8,7	1,5	12,2	197
		19	0,30	1,4	10,1	1,5	13,6	253
		27	0,30	1,5	11,8	1,5	15,3	321
		37	0,30	1,5	12,8	1,5	16,3	380
		52	0,30	1,5	15,0	1,7	18,9	522
	0,35	3	0,30	1,2	6,5	1,4	9,8	119
		7	0,30	1,2	7,7	1,4	11,0	162
		12	0,30	1,4	9,9	1,5	13,4	246
		19	0,30	1,5	11,3	1,5	14,8	315
		27	0,30	1,5	13,0	1,5	16,5	396
		37	0,30	1,5	14,2	1,7	18,1	493
		52	0,30	1,6	16,9	1,8	21,0	679

Примечания: 1. Изоляция—фторопласт-40 Ш.
2. Материал обмотки—ориентированная пленка фторопласта-4.
3. Экран в кабелях КДФР отсутствует, в КДФЭР—медная луженая проволока.
4. Материал второй обмотки в КДФЭР—ориентированная пленка фторопласт-4.
5. Материал первой и второй оболочек—резина ШНН-45Л.
6. Материал оплетки—шелк лавсан.

Таблица 5-13

Марка кабеля	Сечение жил, мм²	Число жил	Толщина изоляции, мм: экранированных жил	Толщина изоляции, мм: неэкранированных жил	Число экранированных жил	Толщина оболочки, мм	Диаметр по 1-й оболочке, мм	Толщина оболочки, мм	Наружный диаметр кабеля, мм	Расчетная масса, кг/км
КДЭФР	0,20	9	0,4	0,3	7	1,2	9,0	1,5	12,5	198
		12	0,4	0,3	8	1,4	9,9	1,5	13,4	234
		16	0,4	0,3	9	1,4	10,6	1,5	14,1	265
		21	0,4	0,3	11	1,5	12,0	1,5	15,5	319
		26	0,4	0,3	12	1,5	12,5	1,5	16,0	350
		32	0,4	0,3	13	1,5	13,2	1,5	16,7	389
		54	0,4	0,3	17	1,5	15,8	1,6	19,5	543
	0,35	3	0,4	—	3	1,2	7,1	1,4	10,4	132
		7	0,4	—	7	1,2	8,9	1,5	12,4	210
		12	0,4	—	12	1,5	11,9	1,5	15,4	322

Примечания: 1. Изоляция—фторопласт-40 Ш.
2. Материал экрана—медная луженая проволока.
3. Материал обмотки—ориентированная пленка фторопласт-4.
4. Материал первой и второй оболочек—резина ШНН-45Л.
5. Материал оплетки—шелк лавсан.

Таблица 5-14

Марка кабеля	Сечение жил, мм²	Число жил	Толщина изоляции, мм	Толщина оболочки, мм	Наружный диаметр кабеля, мм	Расчетная масса, кг/км
КУС	0,5	1	1,0	1,0	8,6	85
	0,12	7	0,5			

Примечания: 1. Изоляция—кремний органическая резина.
2. Материал экрана—посеребренная проволока.
3. Материал обмотки по экрану и обмотки по сердечнику—ориентированная пленка фторопласт-4.
4. Оболочка—кремнийорганическая резина.

Таблица 5-15

Марка кабеля	Сечение жил, мм²	Число жил	Толщина изоляции, мм	Толщина оболочки, мм	Диаметр по оболочке, мм	Наружный диаметр кабеля, мм	Расчетная масса, кг/км
КФРВ	0,75	19	0,25	1,7	10,6	11,2	201

Примечания: 1. Изоляция—фторопласт-40 Ш.
2. Материал обмотки—ориентированная пленка фторопласт-4.
3. Материал оплетки—шелк лавсан, пропитанный фенилоновым лаком.
4. Оболочка—кремнийорганическая резина, армированная лавсаном.

Таблица 5-16

Марка кабеля	Сечение жил, мм²	Число жил	Толщина изоляции, мм	Толщина оболочки, мм	Наружный диаметр кабеля, мм	Расчетная масса, кг/км
КУФЭФС	0,75	2	0,3	1,2	6,5	84,6

1. Примечания: 1. Изоляция—фторопласт-40 Ш.
2. Материал экрана—медная луженаа проволока.
3. Материал обмотки—ориентированная пленка фторопласт-4.
4. Оболочка—фторкаучук.

Таблица 5-17

Технические характеристики	КУШГПР, КЭРШ	КУШГПВ, КЭВШ	КПКР	КУПКР	КФШР	КБФРТ	КДФР	КРШУ, КРШУЭ	П-КУФР	КУФЭФС	КУС	КФРВ
Электрические характеристики в состоянии поставки:												
рабочее напряжение, В	250	250	250	250	250	250	250	380	250	250	1000	250
испытательное напряжение, В	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	2000	1500	1500	5000	1500
сопротивление изоляции, МОм·м	$1\cdot10^6$	$1\cdot10^6$	$5\cdot10^5$	$1\cdot10^6$	$5\cdot10^6$	$5\cdot10^5$	$5\cdot10^5$	$1\cdot10^4$	$5\cdot10^5$	$1\cdot10^5$	$1\cdot10^5$	$5\cdot10^5$
Механические характеристики:												
количество изгибов (перемоток) при радиусе изгиба*	100/5	100/5	—	100/5	100/3	100/3	100/5 10/3	—	100/50	—	1000/5	100/5
количество осевых закручиваний	50	50	—	50	—	—	—	—	—	—	—	—
Стойкость к климатическим воздействиям:												
Максимальная рабочая температура, °С	65	65	65	65	65	65	65	50	65	130	150	125
Минимальная рабочая температура, °С:												
в фиксированном состоянии	—50	—50	—60	—	—50	—50	—50	—	—50	—	—	—
при изгибах	—50	—30	—40	—50	—	—	—	—50	—	—	—60	—60
Влагостойкость:												
относительная влажность, %	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98
Температура, °С	40	40	40	40	40	40	40	35	40	40	40	40
Озоностойкость	Плохая	Хорошая	Плохая	Удовлетворительная	Удовлетворительная	Удовлетворительная	Удовлетворительная	Хорошая	Удовлетворительная	Хорошая	Хорошая	Хорошая
Грибостойкость	Хорошая	Удовлетворительная	Хорошая	Хорошая	Хорошая	Хорошая	Хорошая	Удовлетворительная	Хорошая	Хорошая	Хорошая	Хорошая

Технические характеристики	КУШГПР, КЭРШ	КУШГПВ, КЭВШ	КПКР	КУПКР	КФШР	КБФРТ	КДФР	КРШУ, КРШУЭ	П-КУФР	КУФЭФС	КУС	КФРВ
Стойкость к механическим воздействиям:												
Вибрационные нагрузки:												
диапазон частот, Гц	5—600	5—600	10—2000	1—2500	5—1000	5—2500	5—2000	—	5—2500	5—600	—	4—1000
ускорение g	10	10	20	20	10	15	100	—	20	7,5	—	10
Одиночные удары:												
ускорение g	150	150	—	—	150	—	—	—	150	—	—	—
многократные удары, ускорение g	35	35	—	150	75	150	150	—	40	—	—	35
Стойкость к специальным воздействиям:												
горючесть	Горит	Не горит	Горит	Не горит	Не горит	Не горит	Не горит	Горит	Не горит	Не горит	Горит	Горит
стойкость к внутреннему избыточному давлению, МПа	—	—	0,18	—	0,4	—	0,85	—	—	—	—	—
стойкость к внешнему давлению, МПа	—	—	1,7	0,5	7,0	5,0	1,5	—	6,0	—	—	—
стойкость к агрессивным средам	Плохая	Хорошая	Плохая	Хорошая	Хорошая	Хорошая	Хорошая	Плохая	Хорошая	Хорошая	Плохая	Плохая
Показатели надежности:												
средний ресурс, ч	10 000	10 000	10 000	5760	10 000	10 000	10 000	1000	2000	140 000	10 000	5000
срок службы, лет	12	12	8	12	12	12	12	5,5	12	—	10	12
срок сохраняемости, лет	12	12	8	12	12	12	12	5,5	12	—	10	12

* Числитель—количество изгибов (перемоток); знаменатель—радиус изгиба, выраженный кратностью к диаметру кабеля.

5-3. ПЕРСПЕКТИВНЫЕ КОНСТРУКЦИИ КАБЕЛЕЙ УПРАВЛЕНИЯ

Анализ данных, приведенных в § 5-2, показывает, что в настоящее время сложилась довольно обширная номенклатура кабелей управления нормальной и повышенной нагревостойкости. Отличительной особенностью этой номенклатуры является дублирование многих конструкций (типов кабелей) друг друга по области применения (табл. 5-18). Поэтому естественным являются выбор наиболее перспективных конструкций внутри каждой группы и осуществление на этой основе унификации кабелей управления. При этом должны быть учтены перспективные требования, предъявляемые промышленностью к этой группе кабелей. Как показано в гл. 3, наиболее перспективными и надежными конструкциями кабелей управления нормальной нагревостойкости являются кабели с комбинированной изоляцией из полиэтилена и капрона. Для неподвижной прокладки эти кабели должны быть снабжены оболочкой из поливинилхлоридного пластиката повышенной холодостойкости, для подвижной эксплуатации — из негорючей масло- и бензостойкой резины. Для того чтобы эти кабели могли полностью удовлетворить всем современным требованиям и заменить существующие кабели с пластмассовой изоляцией, необходимо разработать и предусмотреть в технической документации следующие конструктивные варианты: а) диапазон сечений токопроводящих жил 0,05—2,5 мм^2; б) однородные экранированные и неэкранированные кабели; в) неоднородные (комбинированные) кабели с числом экранированных жил, составляющих 30—40% общего количества цепей управления; г) кабели в общем одинарном и двойном экране; д) кабели с панцирной оплеткой; е) кабели круглой и плоской формы.

Полная реализация указанных конструктивных вариантов позволит получить массовую серию кабелей управления нормальной нагревостойкости, которая практически может заменить большинство существующих конструкций кабелей этого типа. По своим техническим характеристикам эти кабели находятся на высшем уровне мировых стандартов и удовлетворяют основным требованиям, предъявляемым потребителями.

Для кабелей, предназначенных для непрерывной подвижной эксплуатации, единственным вариантом остается конструкция с особо гибкой токопроводящей жилой и изоляцией и оболочкой из резины. Повышения надежности и долговечности таких конструкций следует добиваться путем разработки и использования новых рецептур изоляционных резин повышенной механической прочности (особенно стойких к продавливанию), что позволило бы существенно уменьшить толщину изоляции, а следовательно, габариты и массу таких кабелей, а также путем применения для оболочек негорючих, особопрочных, масло- и бензостойких резин повышенной холодостойкости. Другим важным вопросом расширения области применения особо гибких кабелей управления нормальной нагревостойкости является создание конструкций таких кабелей с малым сечением токопроводящих жил. Отсутствие в настоящее время таких кабелей объясняется технологическими трудностями изолирования жил малых сечений на существующем оборудовании. Однако необходимость миниатюризации аппаратуры делает эту задачу весьма актуальной и перспективной.

Что касается перспективных конструкций кабелей управления повышенной нагревостойкости, то перспективными конструкциями, предназначенными для неподвижной прокладки, здесь следует счи-

Таблица 5-18

Группа кабелей	Область применения	Марки кабелей
Кабели нормальной нагревостойкости	1. Для неподвижной прокладки	КУШГПВ, КЭВШ, КУВВГ, КФШР, КБФРТ
	2. Для гибкого монтажа и периодического свертывания и развертывания в процессе эксплуатации	КУШГПР, КЭРШ, КРШУ, КРШУЭ, КПКР-П, КУПКР-П МЭРШ, КРШУ, КРШУЭ
	3. Для непрерывной подвижной эксплуатации	--
Кабели повышенной нагревостойкости	1. Для неподвижной прокладки	КФРВ, КУФЭФС
	2. Для подвижной эксплуатации	КУС

тать кабели с изоляцией из фторопласта с оболочкой из резины на основе фторкаучука. Повышение технического уровня таких конструкций должно достигаться за счет создания более технологичных рецептур указанных резин, обладающих, к тому же, значительно большей, чем сейчас, холодостойкостью. Создание такой резины позволит получить конструкции кабелей, удовлетворяющие всем современным требованиям. Для кабелей, предназначенных для подвижной эксплуатации, основной проблемой является создание кремнийорганической резины повышенной механической прочности. Наличие такой резины для изоляции и указанной выше усовершенствованной резины на основе фторкаучуков для оболочки позволит создать оптимальную конструкцию особо гибкого кабеля управления повышенной нагревостойкости.

Таблица 5-19

Группа	Область применения	Марка
Кабели нормальной нагревостойкости	1. Для неподвижной прокладки	КУПКВ
	2. Для гибкого монтажа и периодического свертывания и развертывания	КУПКР
	3. Для непрерывной подвижной эксплуатации	КУРР
Кабели повышенной нагревостойкости	1. Для неподвижной прокладки	КУФФС
	2. Для подвижной эксплуатации	КУСФС

Классификация перспективных конструкций кабелей управления по области применения приведена в табл. 5-19.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Монтажные** провода для радиоэлектронной аппаратуры. Под редакцией Кранихфельда Л. И. М., «Энергия», 1973.
2. **Бачелис Д. С., Белоруссов Н. И., Саакян А. Е.** Кабели, провода и шнуры электрические. Справочник. М., «Энергия», 1969.
3. **Кранихфельд Л. И., Рязанов И. Б.** Теория, расчет и конструирование кабелей и проводов. М., «Высшая школа», 1972.
4. **Белоруссов Н. И.** Кабели и провода. М., «Энергия», 1971.
5. **Городецкий С. С., Лакерник Р. М.** Испытания кабелей и проводов. М., «Энергия», 1972.
6. **Кранихфельд Л. И., Орлович Т. М., Хазен Л. З.** Кремнийорганические резины в кабельной технике. М., ОВНИИЭМ, 1966.
7. **Галил-Оглы Ф. А., Новиков А. С., Нудельман З. Н.** Фторкаучуки и резины на их основе. М., «Химия», 1966.
8. **Кранихфельд Л. И., Новикова Э. П., Фролов В. Г.** Унификация кабелей управления. — «Кабельная техника», 1971, № 77.
9. **Исследование** резиновых смесей на основе полихлоропреновых и нитрильных каучуков с целью получения негорючих кабельных оболочек повышенной нагревостойкости. — В кн.: Провода и кабели, вып. 1, ОВНИИЭМ, 1966. Авт.: В. В. Графова, Л. И. Кранихфельд, Н. В. Филатова и др.
10. **Маслобензостойкие** резины низкотемпературной вулканизации. — «Кабельная техника», 1972, № 83. Авт.: В. В. Графова, Л. И. Кранихфельд, Н. В. Филатова и др.
11. **Применение** резин на основе фторкаучука в кабельной технике. — «Кабельная техника», 1972, № 92—93. Авт.: М. К. Задунайская, Л. И. Кранихфельд, В. Г. Фролов и др.
12. **Кабели** и провода. Под общей редакцией Привезенцева В. А. и Линкова А. В. М., Госэнергоиздат, 1959.
13. **Кабели** контрольные с резиновой и пластмассовой изоляцией. ГОСТ 1508-71.
14. **Кабели** электрические. Защитные покровы. ГОСТ 7006-72.
15. **Кабели** управления. Общие технические условия. ГОСТ 18404-73.
16. **Правила** устройства электроустановок. М., «Энергия», 1971.
17. **Половко А. М.** Основы теории надежности. М., «Наука», 1964.
18. **Изделия** электронной техники и электротехники. Механические и климатические воздействия. Требования и методы испытаний. ГОСТ 16962-71.

19. **Кабели** и провода. Методы проверки стойкости к многократному перегибу через систему роликов. ГОСТ 12182.1-71.
20. **Кабели** и провода. Метод проверки стойкости к навиванию. ГОСТ 12182.2-71.
21. **Кабели** и провода. Метод проверки стойкости к изгибу с осевым кручением. ГОСТ 12182.3-71.
22. **Кабели** и провода. Метод проверки стойкости к перемотке. ГОСТ 12182.4-71.
23. **Кабели** и провода. Метод проверки стойкости к растяжению. ГОСТ 12182.5-71.
24. **Кабели** и провода. Метод проверки стойкости к раздавливанию. ГОСТ 12182.6-71.
25. **Кабели** и провода. Метод проверки стойкости к осевому кручению. ГОСТ 12182.7-71.
26. **Кабели** и провода. Метод проверки стойкости к изгибу. ГОСТ 12182.8-71.
27. **Лепетов В. А.** Резиновые технические изделия. Л., Госхимиздат, 1959.
28. **Беляев Н. М.** Сопротивление материалов. М., Физматгиз, 1962.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Цена 59 коп.